tijdschrift van het

nederlands elektronica- en radiogenootschap

deel 56 nr. 5/6 1991

nederlands elektronica- en radiogenootschap

Nederlands Elektronica- en Radiogenootschap
Postbus 39, 2260 AA Leidschendam. Gironummer 94746
t.n.v. Penningmeester NERG, Leidschendam.

HET GENOOTSCHAP

De vereniging stelt zich ten doel het wetenschappelijk onderzoek op het gebied van de elektronica en de informatietransmissie en -verwerking te bevorderen en de verbreiding en toepassing van de verworven kennis te stimuleren.

Het genootschap is lid van de Convention of National Societies of Electrical Engineers of Western Europe (Eurel).

BESTUUR

LIDMAATSCHAP

Voor lidmaatschap wende men zich tot de secretaris.
Het lidmaatschap staat open voor academisch gegradueerden en hen, wier kennis of ervaring naar het oordeel van het bestuur een vruchtbaar lidmaatschap mogelijk maakt. De contributie bedraagt *f* 60,– per jaar.

Studenten aan universiteiten en hogescholen komen bij gevorderde studie in aanmerking voor een junior-lidmaatschap, waarbij 50% reductie wordt verleend op de contributie. Op aanvraag kan deze reductie ook aan anderen worden verleend.

HET TIJDSCHRIFT

Het tijdschrift verschijnt zesmaal per jaar. Opgenomen worden artikelen op het gebied van de elektronica en van de telecommunicatie.

Auteurs die publicatie van hun wetenschappelijk werk in het tijdschrift wensen, wordt verzocht in een vroeg stadium contact op te nemen met de voorzitter van de redactiecommissie.

De teksten moeten, getypt op door de redactie verstrekte tekstbladen, geheel persklaar voor de offsetdruk worden ingezonden.

De abonnementsprijs van het tijdschrift bedraagt *f* 60,–. Aan leden wordt het tijdschrift kosteloos toegestuurd.

Tarieven en verdere inlichtingen over advertenties worden op aanvrage verstrekt door de voorzitter van de redactiecommissie.

REDACTIECOMMISSIE

ONDERWIJSCOMMISSIE

VAN DE REDACTIE

Zoals gebruikelijk is het laatste nummer gewijd aan de samenvattingen van promoties die in het afgelopen cursusjaar hebben plaatsgevonden aan de drie Elektrotechnische Faculteiten in Nederland.

Hierbij is uitsluitend gebruik gemaakt van de samenvattingen in de proefschriften en niet van publikaties in de pers over de promoties.

Hoewel gestreefd is naar volledigheid, zou er een proefschrift overgeslagen kunnen zijn. Wij stellen het op prijs in dat geval hiervan in kennis gesteld te worden, zodat dit proefschrift volgend jaar alsnog vermeld kan worden.

De proefschriften zijn gerangschikt per universiteit, en per universiteit staan ze op chronologische volgorde van de promotiedatum. De inhoudsopgave vermeldt de eerste pagina per universiteit. In het register staan de namen van de promovendi alfabetisch geordend, met voor elke promovendus een paginanummer en een letter die aanduidt waar de promotie plaatshad: D voor Delft, E voor Eindhoven en T voor Twente.

Elk proefschrift ligt ter inzage op de bibliotheek van de betreffende universiteit. Wanneer u behoefte heeft aan een eigen exemplaar kunt u hierom schriftelijk verzoeken bij de bibliotheek van de universiteit. Wanneer deze geen exemplaren meer voorradig mocht hebben, kunt u indien gewenst een kopie op microfiche aanvragen (alleen voor Delft en Eindhoven). Onderstaand vindt u de adressen.

Centrale bibliotheek TUD
Afdeling Periodieken en Ruil
Schuttersveld 2
2611 WE Delft

Dhr. J. Duyn
Centrale bibliotheek TUE
Postbus 513
5600 MB Eindhoven

Mevr. A.M. Tenhagen
Bureau Universiteitsbibliotheek Twente
Postbus 217
7500 AE Enschede

Technische Universiteit DELFT

FIRST ORDER OSCILLATORS

Door Chr.J.M. Verhoeven.

1 februari 1990.

Promotor:

Prof.dr.ir. J. Davidse.

Na een korte introductie in hoofdstuk 1 worden in het tweede hoofdstuk de basis principes behandeld die ten grondslag liggen aan de werking van een eerste-orde oscillator. Als eerste wordt de definitie van de eerste-orde oscillator gegeven. Een eerste-orde oscillator is een oscillator waarin de periodetijd wordt bepaald met behulp van één enkele tijdconstante. De tijdconstante is afkomstig van een integrator. De integrator wordt gebruikt om een tijdvariërend signaal te genereren vanuit een constant signaal. Een integrator alleen kan echter geen periodiek signaal opwekken. Om dat te bereiken zijn er extra circuits nodig. Deze circuits voeren de basisfuncties uit in het oscillator systeem die nodig zijn voor het opwekken van een periodiek signaal vanuit het tijdvariërende integrator signaal. Enkele systeemconcepten voor eerste-orde oscillatoren worden behandeld en verschillende manieren om de basic functies te implementeren worden voorgesteld.

De integrator wordt meestal uitgevoerd met een condensator, die met een constante stroom geladen en ontladen wordt. Wanneer in een IC-proces geïntegreerde condensatoren beschikbaar zijn, dan is een eerste-orde oscillator volledig integreerbaar. Dit is een zeer voordelige eigenschap van dit type oscillatoren.

Een van de basic functies die in een eerste-orde oscillator moet worden uitgevoerd is de binaire geheugenfunctie. Een binair geheugen kan met een regeneratief circuit, zoals een Schmitt trigger gemaakt worden.

Oscillatoren die met een regeneratief binair geheugen zijn uitgevoerd worden ook wel regeneratieve oscillatoren of multivibratoren genoemd. Er zijn echter ook binaire geheugens die niet-regeneratief zijn. Ook voor oscillatoren uitgevoerd met dit soort geheugens worden systeemconcepten gegeven.

In hoofdstuk 3 wordt een beschrijvingstaal geïntroduceerd voor eersteorde oscillatoren. De taal maakt gebruik van grafische symbolen om het gedrag te beschrijven. Met behulp van de beschrijvingstaal kunnen de oscillatoren onderscheiden worden in verschillende klassen. Elke klasse heeft specifieke eigenschappen. De klassificatie toont aan dat er meer implementaties van eerste-orde oscillatoren mogelijk zijn dan alleen de veel toegepaste regeneratieve oscillatoren. Enkele zeer interessante implementaties worden met behulp van de beschrijvingstaal afgeleid.

In hoofdstuk 4 worden de regeneratieve binaire geheugens behandeld. De Schmitt trigger is een binair geheugen dat past in dit hoofdstuk. Het loop gain-excitation model wordt geïntroduceerd waarmee het schakelgedrag van regeneratieve schakelingen beschreven kan worden. Het wordt gebruikt om het ruisgedrag van regeneratieve schakelingen en de invloed van externe factoren op hun schakelsnelheid te onderzoeken. Verschillende implementaties worden behandeld.

In hoofdstuk 5 worden de niet-generatieve geheugens behandeld. Sample and hold circuits en andere circuits die een integrator bevatten kunnen ook als binair geheugen worden ingezet. Ook hier worden verschillende implementaties behandeld.

Hoofdstuk 6 behandelt het ruisgedrag van eerste-orde oscillatoren. Het ruisgedrag wordt op systeemniveau behandeld. Er worden geen berekeningen uitgevoerd aan één specifieke elektronische implementatie. Het feit dat een eerste-orde oscillator een tijdvariant systeem is, maakt het ruisgedrag nogal gecompliceerd. De ruis wordt bemonsterd door de oscillator met als gevolg dat ruis uit hogere frequentiebanden wordt teruggevouwen naar een frequentieband rond de grondharmonische van het oscillatorsignaal. Er worden uitdrukkingen afgeleid die dit effect beschrijven. De resultaten van de ruisberekeningen zijn gebruikt om het ruisgedrag van enkele electronische implementaties te voorspellen. Metingen hebben aangetoond dat de uitdrukkingen zeer bruikbaar zijn.

De hoofdstukken 7 en 8 behandelen de eigenlijke implementaties van eerste-orde oscillatoren. In het eerstgenoemde hoofdstuk worden de regeneratieve oscillatoren behandeld en in het laatstgenoemde de niet-regeneratieve. In beide hoofdstukken worden diverse electronische implementaties gegeven. Sommige daarvan zijn geïntegreerd in een bipolair IC-proces en door middel van metingen geverifieerd.

* * *

HIGH-PURITY SILICON SOFT X-RAY SENSOR ARRAYS

Door S.A. Steigerwald Audet.

7 juni 1990.

Promotor:

Prof.dr.ir. S. Middelhoek.

Het in dit proefschrift gepresenteerde onderzoek behandelt de fundamentele eigenschappen van tweedimensionale positiegevoelige sensoren voor het meten van zachte röntgenstraling. De sensoren zijn vervaardigd in hoogohmig silicium. Door de vooruitgang op het gebied van het fundamentele onderzoek naar de technische toepassingen van zachte röntgenstraling (b.v. synchrotronstraling en gepulste plasmabronnen) is de ontwikkeling van tweedimensionale positiegevoelige sensoren voor het meten van zachte röntgenstraling noodzakelijk geworden. Hoogohmige silicium sensormatrices zijn bij uitstek geschikt voor het meten van laag energetische (zachte) röntgenstraling.

De interactiemechanismen, die de wisselwerking tussen elektromagnetische straling en silicium beschrijven, worden behandeld in Hoofdstuk 2. Zachte röntgenstraling wordt in silicium voornamelijk d.m.v. het foto-elektrisch effect geabsorbeerd. Het aantal vrije ladingsdragers dat gegenereerd wordt door de absorbtie van een foton wordt bepaald door de energie van de invallende straling. Het complete detectieproces hangt niet alleen af van de absorptie van de fotonen en de bijbehorende generatie van ladingsdragers, maar wordt mede bepaald door de collectie van de gegenereerde lading. De absolute quantumefficiëncy omvat het complete proces en is gedefinieerd als de verhouding van het aantal gecollecteerde ladingsdragers en het theoretische aantal dat zou worden gegenereerd als alle invallende fotonen omgezet zouden worden in ladingsdragers.

Hoogohmige silicium sensoren voor het meten van zachte röntgenstraling, in het bijzonder de matrix-elementen van de sensormatrices, worden theoretisch gekarakteriseerd in Hoofdstuk 2. Twee soorten sensoren worden behandeld, welke beide bestaan uit p^+–n^-–n^+ diodes van hoogohmig sili-

cium. Het uitleesmechanisme van de sensoren van het eerste type is direct, terwijl bij de tweede soort elke sensor via een geïntegreerde polysilicium weerstand wordt uitgelezen. De theoretische karakterisatie omvat de analyses van de lekstroom van de sensor, de levensduur van de ladingsdragers, de energieresolutie en de ruisbronnen. Het principe van de ladingscollectie en de schade, die de invallende straling in de sensoren veroorzaakt, wordt ook behandeld.

De totale lekstroom in hoogohmige silicium sensoren voor het meten van zachte röntgenstraling bestaat uit drie componenten: lek via het oppervlak, thermische generatie in de depletielaag en thermische generatie in de niet-gedepleteerde gebieden. Bij de standaardinstelling (d.w.z. dat de sensor geheel gedepleteerd is) wordt de totale lekstroom voornamelijk bepaald door de thermische generatie in de depletielaag.

De geschiktheid van een detector om de energie te meten van invallende straling wordt weergegeven door de energieresolutie. Het energiespectrum van een mono-energetische bron is in theorie een delta-puls. Echter in de praktijk wordt een brede puls gemeten, veroorzaakt door verschillende ruisbronnen. Dit lijnverbredingseffect wordt veroorzaakt door drie ruisbronnen: statische fluctuaties in het aantal gegenereerde ladingsdragers, statistische fluctuaties in de lekstroom en statistische fluctuaties in stromen in de elektronische circuits.

Elektromagnetische straling die binnendringt in een silicium sensor kan schade veroorzaken door de generatie van roosterfouten. Echter, zolang de energie van de invallende straling lager is dan 130 keV, blijft de stralingsschade beperkt. Bovendien biedt een temperatuurbehandeling de mogelijkheid om de schade te herstellen.

Hoogohmige silicium sensormatrices voor het meten van zachte röntgenstraling worden theoretisch gekarakteriseerd in Hoofdstuk 3. Twee soorten sensormatrices worden onderzocht. De fabricage van de eerste soort is gebaseerd op een interconnectiepatroon (aluminium, polysilicium). Deze methode heeft als nadeel dat grote matrices bestaande uit kleine elementen niet gemaakt kunnen worden.

Dit nadeel geldt niet voor sensormatrices van de tweede soort. Deze worden gefabriceerd volgens de dubbellaagsmetallisatietechniek (aluminium, aluminium) en worden onderverdeeld in twee groepen, beide gebaseerd op de sensorelementen zoals in de voorgaande tekst beschreven. De ene groep bestaat uit matrices van de sensorelementen, terwijl de elementen van de tweede groep bestaan uit sensoren in serie met polysilicium weerstanden.

Omdat de sensormatrices opgebouwd zijn uit sensorelementen, gelden veel van de karakteristieke parameters van de sensorelementen ook voor de elementen van de sensormatrices. De lekstroom van een resistieve uitgang van een sensormatrix is de som van de lekstromen van de sensorelementen van de kolom. De levensduur van de ladingsdragers van een bepaalde sensor hangt niet af van de geometrie van de sensor en hoeft dus niet apart gedefinieerd te worden voor sensormatrices. De energieresolutie en de ruis van een sensormatrix worden eveneens gegeven door de energieresolutie en de ruis van de individuele sensorelementen. Parameters die wel verschillend zijn voor sensormatrices zijn plaatsresolutie, overspraak en stralingsschade.

Overspraak tussen naburige elementen in een sensormatrix komt voor wanneer de lading, die door een element gecollecteerd wordt, bij een ander element een uitgangssignaal induceert. Coïncidentietechnieken worden gebruikt om de mate van overspraak vast te stellen.

Omdat de sensormatrices twee metallisatielagen hebben met een dielektricum ertussen als isolatie, zijn deze matrices minder stralingsbestendig dan de sensorelementen. Ionisatie-effecten veroorzaakt door ingevangen lading kunnen op den duur het functioneren van het dielektricum nadelig beïnvloeden. Wanneer de sensormatrices aan de achterkant bestraald worden, neemt de kans op dit soort stralingsschade aanzienlijk af.

De fabricage van hoogohmige silicium sensoren en sensormatrices voor het meten van zachte röntgenstraling wordt behandeld in Hoofdstuk 4. De fabricage van een sensor bestaat uit het aanbrengen van twee juncties in een hoogohmig substraat d.m.v. ionenimplantatietechnieken: een p^+–n^- junctie aan de voorkant en een n^-–n^+ junctie aan de achterkant. Er is een aantal redenen om hoogohmig silicium te gebruiken als substraatmateriaal. Het heeft een relatief lage verontreinigingsconcentratie, een lage dichtheid van vangcentra en een lage verstrooiingscentradichtheid. Dit heeft tot gevolg dat de thermische generatie in de depletielaag minimaal is en dat de levensduur en de mobiliteit van de minderheidsladingsdragers en de depletielaagdikte maximaal zijn. Bovendien ontstaat een sterk elektrisch veld in de depletielaag van een correct ingestelde sensor. Dit elektrisch veld bewerkstelligt dat de collectie van de gegenereerde lading in minder dan 25 ns plaatsvindt en voorkomt dat de lading uitdiffundeert voordat het de elektrode(s) bereikt. Tenslotte hebben sensoren van hoogohmig silicium altijd een betere quantumefficiency dan sensoren van standaard silicium. De geïntegreerde weerstanden zijn gerealiseerd door depositie van polysilicium m.b.v. een LPCVD-techniek.

De processtappen die ontwikkeld zijn om hoogohmige silicium sensoren voor het meten van zachte röntgenstraling te fabriceren kunnen direct gebruikt worden voor de fabricage van de sensormatrices die gebaseerd zijn op de dubbellaagsmetallisatietechniek. Slechts twee stappen moeten worden toegevoegd: depositie bij lage temperatuur van siliciumdioxide en de tweede metallisatie stap.

Het meetsysteem dat gebruikt is voor de detectie van zachte röntgenstraling wordt behandeld in Hoofdstuk 5. De door een foton gegenereerde lading moet bewerkt worden nadat het is gecollecteerd. De signaalverwerkingsapparatuur die gebruikt wordt in meetsystemen voor zachte röntgenstraling bestaat uit voorversterkers, spectroscopie versterkers, A/D omzetters, coïncidentiecircuits en MCAs (veelkanaals analysatoren). Het met succes toepassen van hoogohmige silicium sensoren en sensormatrices voor het meten van zachte röntgenstraling hangt zeer nauw samen met de beschikbaarheid van kleine en snelle versterkers met lage ruis en van signaalverwerkingselektronica die weinig vermogen dissipeert.

De experimentele resultaten worden gepresenteerd in Hoofdstuk 5. De gemeten waarden van de lekstromen van de sensoren en de sensormatrices zijn in overeenstemming met de door de theorie voorspelde waarden. De experimentele waarden van de geïntegreerde polysilicium weerstanden zijn ook in overeenstemming met de theorie.

De overspraak van alle sensormatrices is altijd minder dan 10%. De sensormatrices met dubbellaagsmetallisatie die gebruik maken van de geïntegreerde weerstanden hebben de laagste overspraak, terwijl de sensormatrices met dubbellaagsmetallisatie die geen geïntegreerde weerstanden gebruiken de beste energieresolutie hebben.

Het doel van een sensormatrix voor het meten van zachte röntgenstraling is om invallende straling te absorberen en de daarbij gegenereerde electron-gat paren te collecteren en zodoende een betrouwbare waarde van de energie en de positie in twee dimensies van de invallende straling te geven. De lage lekstroom, de goede energieresolutie en de kleine overspraak van de in dit proefschrift gepresenteerde hoogohmige silicium sensormatrices voor het meten van zachte röntgenstraling tonen aan dat deze sensormatrices uitermate geschikt zijn voor het meten van zachte röntgenstralingsbeelden.

* * *

COMPUTATIONAL MODELING OF INTEGRATED-OPTICAL WAVEGUIDES

Door N.H.G. Baken.

30 oktober 1990.

Promotor:

Prof.dr.ir. H. Blok.

Geïntegreerde optica is een nieuwe discipline die een belangrijke rol zal spelen met name in de ontwikkeling van optische telecommunicatiesystemen. Het doel van geïntegreerde optica is het creëren van geïntegreerde optische circuits voor het verwerken van optische signalen zonder daarbij het optische domein te verlaten. De belangrijke voordelen die de geïntegreerde optica biedt zijn de hoge schakelsnelheden (groter dan 5 Gbit/s), inherente eenvoud van volledige optische systemen opgebouwd uit glasvezels en geïntegreerde optische microcircuits, hoge betrouwbaarheid en electromagnetische compabiliteit van die circuits, en lage kosten door de mogelijkheid van massafabricage. Om de geïntegreerde optische componenten te kunnen ontwerpen is een degelijke kennis vereist van de propagatie-eigenschappen van de bouwstenen van die componenten. Deze bouwstenen zijn de zogenaamde geïntegreerde optische kanaalgolfgeleiders. Door het bestuderen van de numerieke resultaten van specifieke mathematische modellen kan deze kennis worden opgebouwd. In dit proefschrift wordt zo'n mathematisch model ontwikkeld. Het model, de methode waarvoor wij hebben gekozen is de methode van de domein-integraalvergelijkingen omdat deze een exacte wiskundige methode is, die vanuit fysisch oogpunt elegant kan worden geïnterpreteerd. In deze methoden wordt de kanaalgolfgeleider opgevat als een verstoring van de gelaagde achtergrond waarin hij is ingebed. Dit resulteert in de afleiding van twee gekoppelde domein-integraalvergelijkingen waarmee het elektromagnetische veld binnen de golfgeleider kan worden bepaald. De kernen van de integratie zijn Greense tensoren die de elektromagnetische Greense toestand van het (gelaagde) achtergrondmedium beschrijven.

De complexiteit van de totale configuratie, i.e. de achtergrond plus de kanaalgolfgeleider(s), wordt bepaald door twee factoren. Het achtergrondmedium kan volledig homogeen zijn, maar het kan ook bestaan uit verschillende lagen die zich bevinden boven het substraat en die worden afgedekt door een superstraat. De dwarsdoorsnede van de kanaalgolfgeleider kan circulair zijn, maar kan even goed een meer complexe vorm hebben. De geometrie van de golfgeleiderconfiguratie kan worden beschreven door middel van "geometrische parameters". Een andere groep van parameters heeft betrekking op het materiaal van de verschillende bestanddelen van de configuratie, de 'materiaalparameters'. De geometrische parameters en de materiaalparameters tezamen leggen de configuratie volledig vast en geven de complexiteit van die configuratie aan.

Daar optische golfgeleiders kunnen worden opgevat als de bouwstenen van een optisch netwerk, is het duidelijk dat de kwaliteit van dit netwerk staat of valt met de kwaliteit van de bouwstenen. Men moet in staat zijn om deze fundamentele elementen op een adequate wijze te ontwerpen en te fabriceren. De methode van de domein-integraalvergelijkingen is een hulpmiddel bij het ontwerpen van de optische golfgeleiders omdat zij gegevens oplevert over de propagatie-eigenschappen van die golfgeleiders. De invloed van het materiaaltype, met name het isotrope dan wel anisotrope karakter daarvan wordt hierbij verdisconteerd. Dit is van groot belang daar bepaalde eigenschappen van geïntegreerde optische en opto-elektronische componenten juist berusten op het anisotrope karakter van de gebruikte materialen.

Zoals reeds gezegd, bestaan de kernen van de domein-integraal-vergelijkingen uit Greense tensoren die de Greense elektromagnetische toestanden van het achtergrondmedium beschrijven. Het mag duidelijk zijn dat deze tensoren eerst dienen te worden bepaald alvorens de domein-integraalvergelijkingen zelf kunnen worden opgelost. In de hoofdstukken 2 en 3 wordt de theorie ontwikkeld die nodig is voor de uitwerking van de Greense tensor componenten, respectievelijk voor anisotrope en isotrope achtergrondmedia. Dit betekent dat we in deze hoofdstukken de 'puntbronproblemen' voor de corresponderende gelaagde media oplossen. We hebben er voor gekozen om eerst de meer complexe anisotrope media te behandelen (in hoofdstuk 2). De lezer die niet vertrouwd is met deze materie wordt aangeraden te starten met hoofdstuk 3. In hoofdstuk 4 onderzoeken we de propagatiekarakteristieken van bronvrije, isotrope en anisotrope gelaagde media (zonder kanaalgolfgeleiders) door de geleide filmmodi te bestuderen die zich in zulke planaire structuren kunnen voortplanten. De propagatie-eigenschappen van deze filmmodi hangen nauw samen met die van de geleide kanaalmodi die propageren in kanaalgolfgeleiders; in feite kunnen de kanaalmodi worden geïnterpreteerd als 'afstammelingen' van de filmmodi. De geleide kanaalmodi bepalen in hoofdzaak de propagatie-eigenschappen van kanaalgolfgeleiders. In de hoofdstukken 5 en 6 gaan we uitvoerig in op de domein-integraalvergelijkingen voor kanaalgolfgeleiders ingebed in gelaagde respectievelijk isotrope en anisotrope media. Met behulp van deze vergelijkingen worden dan de propagatie constantes en veldverdelingen van de geleide kanaalmodi bepaald. We zullen nu een korte beschrijving geven van de hoofdstukken van dit proefschrift. Elk hoofdstuk kan in principe apart gelezen worden.

Hoofdstuk 1

Algemene inleiding

In dit hoofdstuk wordt een korte inleiding gegeven in de optische communicatie en vervolgens wordt uitgelegd hoe binnen deze discipline de geïntegreerde optica, de opto-elektronica en in het bijzonder de materie behandeld in dit proefschrift passen. In de paragrafen 1.2 en 1.3 worden respectievelijk de probleemformulering en de aanpak van modellering kernachtig uiteengezet. De basisvergelijkingen die nodig zijn in de overige hoofdstukken worden behandeld in paragraaf 1.4, en een overzicht van de organisatie van het proefschrift wordt gepresenteerd in paragraaf 1.5.

Hoofdstuk 2

Elektromagnetische golven in gelaagde, stuksgewijs homogene, anisotrope media

In dit hoofdstuk analyseren we het elektromagnetische veld dat wordt geëxciteerd door een elektromagnetische puntbron in een gelaagd, stuksgewijs homogeen, anisotroop medium. Het medium (de achtergrond) bestaat uit een N-tal horizontale lagen die zijn ingeklemd tussen twee half-oneindige lagen, te weten het substraat en het superstraat. Er worden twee formalismes ontwikkeld om de Greense tensoren te construeren: het propagator-matrix formalisme en het verstrooiings-matrix formalisme. Het eerste formalisme is relatief eenvoudig en geeft een duidelijk fysisch inzicht. Bij de numerieke implementatie kunnen evenwel problemen optreden. Het verstrooiings-matrix formalisme is een numeriek stabiele methode.

Hoofdstuk 3

Elektromagnetische golven in gelaagde, stuksgewijs homogene, isotrope media

In dit hoofdstuk analyseren we het elektromagnetische veld dat wordt geëxciteerd door een elektromagnetische puntbron in een gelaagd, stuksgewijs homogeen, isotroop medium. Het medium (de achtergrond) bestaat uit

een N-tal horizontale lagen die zijn ingeklemd tussen twee half-oneindige lagen, te weten het substraat en het superstraat. Aangezien isotrope materialen kunnen worden beschouwd als een speciale klasse van anisotrope materialen wordt de analyse in dit hoofdstuk in principe volledig omvat door die van hoofdstuk 2. Toch is deze aparte formulering voor isotrope materialen gegeven omwille van de volledigheid. Tevens kan door de corresponderende formules van de hoofdstukken 2 en 3 te vergelijken, de interpretatie voor anisotrope materialen gemakkelijker worden. Verder vormen de isotrope materialen, vanuit technologisch oogpunt bezien, een relevante klasse en bovendien kunnen, vanuit wiskundig oogpunt bezien, veel relaties verder analytisch worden uitgewerkt.

Hoofdstuk 4

Geleide modi in gelaagde, isotrope en anisotrope media

In dit hoofdstuk wordt een analyse gepresenteerd met het doel de elektromagnetische golven te bepalen die zich kunnen voortplanten in gelaagde, stuksgewijs homogene, isotrope en anisotrope media. We beperken ons daarbij tot de klasse van discrete elektromagnetische veldoplossingen die worden aangeduid als de geleide filmmodi.

De analyse is gebaseerd op of het propagator-matrix formalisme of op het verstrooiings-matrix formalisme. Numerieke resultaten worden gepresenteerd voor een verscheidenheid van planaire golfgeleidende structuren. De resultaten bevestigen de toepasbaarheid van de gebruikte methoden en tonen aan dat ze kunnen dienen voor het ontwerp en de analyse van geïntegreerde optische planaire structuren.

Hoofdstuk 5

Geleide modi in geïntegreerde optische golfgeleiders ingebed in gelaagde, isotrope media

In dit hoofdstuk wordt een analyse gepresenteerd met het doel de elektromagnetische golven te bepalen die zich kunnen voortplanten in geïntegreerde optische golfgeleidende structuren welke zijn ingebed in gelaagde, stuksgewijs homogene, isotrope media. We beperken ons daarbij tot de klasse van discrete elektromagnetische veldoplossingen die worden aangeduid als de geleide kanaalmodi.

De analyse is gebaseerd op de methode van de domain-integraalvergelijkingen. Voor de numerieke implementatie is gekozen voor de methode van momenten. De voorkomende numerieke overwegingen worden kort besproken. Numerieke resultaten worden gepresenteerd voor een verscheidenheid van golfgeleidende structuren en geïntegreerde optische componenten zoals glasvezels, dijkgolfgeleiders en richtkoppelingen; de resultaten bevestigen de toepasbaarheid van de methode en tonen aan dat deze kan dienen als een waardevol gereedschap bij het modelleren van isotrope geïntegreerde optische componenten.

Hoofdstuk 6

Geleide modi in geïntegreerde optische golfgeleiders ingebed in gelaagde, anisotrope media

In dit hoofdstuk wordt een analyse gepresenteerd met het doel de elektromagnetische golven te bepalen die zich kunnen voortplanten in geïntegreerde optische golfgeleidende structuren welke zijn ingebed in gelaagde, stuksgewijs homogene, anisotrope media. We beperken ons daarbij tot een klasse van discrete elektromagnetische veldoplossingen die worden aangeduid als de geleide kanaalmodi.

De analyse is gebaseerd op de methode van de domain-integraalvergelijkingen. Voor de numerieke implementatie is gekozen voor de methode van momenten. De voorkomende numerieke overwegingen worden kort besproken. Enkele numerieke resultaten worden gepresenteerd voor anisotrope golfgeleiders die zijn ingebed in gelaagde, uniaxiaal anisotrope media; de resultaten bevestigen de toepasbaarheid van de methode en tonen aan dat deze kan dienen als een waardevol gereedschap bij het modelleren van anisotrope geïntegreerde optische componenten.

* * *

PROGRAMMABLE SURFACE ACOUSTIC WAVE DETECTION IN SILICON

Design of Programmable Filters.

Door J.C. Haartsen.

20 november 1990.

Promotoren:

Prof.dr.ir. S. Middelhoek,

Dr.ir. A. Venema.

Het onderzoek, dat in dit proefschrift wordt gepresenteerd, behandelt het ontwerp en de vervaardiging van programmeerbare, akoestische oppervlaktegolf (Surface Acoustic Wave, afgekort SAW) detectoren in ZnO-SiO_2-Si gelaagde structuren. Deze detectoren vormen de sleutelcomponenten van programmeerbare SAW filters. De samenvoeging van SAW- en halfgeleidertechnologie maakt het mogelijk nieuwe piezotronische componenten te ontwerpen, waarin een interactie plaatsvindt tussen de akoestische en elektronische eigenschappen van de ZnO-SiO_2-Si structuur. Na een theoretische studie van het akoesto-elektrische gedrag van de gelaagde structuur worden verschillende, regelbare SAW detectieprincipes onderzocht. Door de detectoren op te bouwen met slechts diffusie of ionen-geïmplanteerde junctie-elektroden worden mechanische en topologische discontinuïteiten in het SAW propagatie pad vermeden. Hierdoor worden reflecties van de akoestische golven onderdrukt. Een tweetal uitvoeringen van actieve SAW detectoren wordt gepresenteerd. Experimenten rond 100 MHz bevestigen de werking van de nieuwe detectieprincipes. Het uitgangssignaal kan over een groot bereik gevarieerd worden door de DC instelling van de componenten te regelen. Ten slotte wordt een compleet, programmeerbare filterconfiguratie geëvalueerd waarin de ontwikkelde SAW detectoren worden toegepast. Het gepresenteerde werk draagt bij tot de ontwikkeling van monolitische, programmeerbare SAW filters waarin de akoestische en elektrische signaalbewerkingsfuncties niet alleen samengevoegd worden, maar bovendien in elkaar over gaan.

Hoofdstuk 1. Een overzicht wordt gegeven van de toepassingen van programmeerbare filters in radar- en communicatiesystemen. De basisuitvoering van een asynchroon, programmeerbaar filter bestaande uit een vertragingslijn met een rij van aftakkingen, wordt nader uitgewerkt. Verscheidene implementaties en technologieën komen aan bod. Het gebruik van de SAW technologie is aantrekkelijk in het hoogfrequent bereik (50 MHz - 1 GHz). Enkele basisbegrippen uit het SAW vakgebied worden summier behandeld.

Hoofdstuk 2. Een gedegen theoretische beschrijving wordt gegeven betreffende het akoesto-elektrische systeem dat gevormd wordt door de ZnO-SiO_2-Si gelaagde structuur. De fundamentele akoestische en elektrische relaties in twee dimensies worden beschouwd. Een nieuwe methode wordt geïntroduceerd, waarin de akoestisch opgewekte polarisatielading in de piezoelektrische ZnO laag teruggebracht wordt tot een oppervlaktelading op het ZnO-SiO_2 grensvlak. Met deze "Equivalent-Surface-Charge" methode wordt het akoesto-elektrische veldprobleem gereduceerd tot een elektrisch probleem. Door gebruik te maken van deze methode kan de

invloed van de akoustische oppervlaktegolf op de elektronische componenten in het silicium substraat eenvoudig onderzocht worden met behulp van 2D-simulatieprogramma's, die gewoonlijk voor het onderzoek van halfgeleidercomponenten worden gebruikt. Ten slotte wordt er een overzicht gegeven van de akoesto-elektrische effecten die optreden als gevolg van de interactie tussen de akoestische oppervlaktegolf en beweegbare ladingdragers.

Hoofdstuk 3. De realisatie wordt onderzocht van SAW detectoren waarvan het uitgangssignaal elektronisch regelbaar is. Verschillende SAW detectiemechanismen worden besproken, zoals daar zijn de passieve, actieve en parametrische mechanismen. Het meest aantrekkelijke mechanisme is het actieve detectiemechanisme waarin de SAW slechts een extra toegevoerd vermogen moduleert. Hiermee kunnen hoge rendementen en lage vervormingsniveaus worden bereikt. De detectie- en regelfuncties kunnen gescheiden (gescheiden regelfunctie) of samengevoegd worden in één enkele component (geïntegreerde regelfunctie). Met de geïntegreerde regelfunctie zijn compacte, programmeerbare detectoren te realiseren waarin weinig last wordt ondervonden van elektromagnetisch overspraak. In de actieve detector kan de geïntegreerde regelfunctie gerealiseerd worden door het regelen van het extra toegevoerde vermogen. Het gebruik van junctie-elektroden wordt besproken. Het vlakke oppervlak en de afwezigheid van mechanische discontinuïteiten zorgen voor een vrijwel onverstoorde golfpropagatie. De junctie-elektroden hebben echter een niet te verwaarlozen serieweerstand. Voor het verkrijgen van een hoge signaal ruis verhouding zijn daarom de actieve detectiemechanismen onontbeerlijk.

Hoofdstuk 4. Een nieuw type actieve SAW detector die alleen uit junctie-elektroden bestaat, wordt geïntroduceerd. In feite wordt de detector gevormd door een laterale "reach-through" diode, waarvan de geïnjecteerde stroom gemoduleerd wordt door de elektrische velden van de SAW. Omdat de werking betrekking heeft op de modulatie van een potentiaalbarrière naast de injectie-elektrode, wordt de detector de "Barrier-Modulated Tap (BMT)" genoemd. Na een verhandeling over de werking in een ééndimensionale structuur wordt het concept uitgebreid naar een tweedimensionale structuur. De potentiaalverdeling in deze structuur wordt geanalyseerd met 2D-simulaties. Bovendien wordt er een klein-signaal vervangingsmodel afgeleid, bestaande uit discrete netwerkcomponenten. De BMT is eenvoudig te vervaardigen gebruikmakend van standaard IC processen. Experimenten rond 100 MHz met componenten gefabriceerd in de ZnO-SiO_2-Si structuur bevestigen de werking van het nieuwe detectieconcept, en komen goed overeen met de simulatieresultaten. Het actieve detectiemechanisme verschaft vermogensrendementen rond de -50 dB in een niet-afgestemde belasting van 50 Ω. Door het variëren van de DC ruststroom tussen 0 en 5 mA kan het actieve detectiemechanisme over een bereik van meer dan 25 dB geregeld worden.

Hoofdstuk 5. De Piezoelektrisch Junctie FET (PI-JFET) wordt toegepast als actieve SAW detector. De source, gate en drain elektroden worden opgebouwd met junctiestructuren. Voor het SAW detectieproces wordt alleen de pn-junctie gate aan het siliciumoppervlak gebruikt. Zowel de werking als de dominante parameters van deze top-gate gestuurde junctie FET worden theoretisch geanalyseerd. Experimentele SAW detectoren, bestaande uit n-kanaal JFETs, zijn vervaardigd. Experimenten rond 100 MHz tonen de SAW detectiefunctie en de regelbaarheid van het uitgangssignaal in de PI-JFET aan. Het detectie-rendement is in dezelfde orde van grootte als van de BMT. Door het varieren van de DC top-gate spanning tussen 0 en -6V kan het actieve detectiemechanisme over een bereik van meer dan 30 dB geregeld worden.

Hoofdstuk 6. In dit laatste hoofdstuk wordt het complete, monolitische programmeerbare filter besproken. Verscheidene storende effecten, zoals dispersie en hogere-orde golfmodi worden geëvalueerd met betrekking tot de prestaties van het filter. In de filter architectuur wordt een verdeling gemaakt tussen het golfopwekkings- en golfdetectiedeel. Een nieuw type SAW-opwekkingstransducent wordt gepresenteerd die compatibel is met de fabricagetechnologie van de ontwikkelde junctiedetectoren. De uiteindelijke filter actie vindt plaats in de detectorarray bestaande uit regelbare SAW detectoren. De detectiearray dient in twee identieke parallel gelegen delen te worden opgesplitst om common-mode verstoringen te onderdrukken. Om de verschillende SAW detectoren te kunnen vergelijken wordt een bilineariteitsfactor gebruikt die niet slechts het detectierendement maar tevens de DC vermogensdissipatie omvat. Met de ontwikkelde BMTs en de PI-JFETs kunnen bilineariteitsfactoren worden gerealiseerd die 10 tot 100 maal groter zijn dan verkregen kunnen worden met in het verleden gerealiseerde aktieve detectoren. Bovendien kunnen de ontwikkelde actieve detectoren uitstekend gebruikt worden in de detectiearray van het programmeerbare filter, omdat ze geen golven regenereren en de golfpropagatie nauwelijks verstoren. Ten slotte wordt er een overzicht gegeven van de elektronische schakelingen die in toekomstige filter ontwerpen in de ZnO-SiO_2-Si gelaagde structuur toegevoegd kunnen worden. Met deze laatste stap wordt de realisatie van intelligente SAW filters voor breedbandige en hoogfrequente signaalverwerkingsfuncties afgesloten.

* * *

PREDICTIVE CONTROL – A UNIFIED APPROACH

Door A.R.M. Soeterboek.

22 november 1990.

Promotoren:

Prof.ir. H.B. Verbruggen,

Prof.dr.ir. P.P.J. van den Bosch.

Elke voorspellende regelaar is gebaseerd op hetzelfde concept: er wordt een zodanige stuurreeks berekend over de voorspellingshorizon, dat de voorspelde procesuitgang het referentie traject zo goed mogelijk volgt. Een model van het te regelen proces wordt gebruikt om de uitgang van het proces te voorspellen. Een criteriumfunctie wordt gebruikt om te bepalen hoe goed het referentie traject wordt gevolgd. Minimalisatie van deze criteriumfunctie levert de optimale stuurreeks op die aan het proces moet worden toegevoerd. Er moet dus een optimalisatie probleem worden opgelost.

Ondanks het feit dat alle voorspellende regelaars zijn gebaseerd op hetzelfde concept zijn er vele mogelijkheden om zo'n regelaar te ontwerpen. Door gebruik te maken van verschillende modellen en criteriumfuncties, ontstaan verschillende voorspellende regelaars met verschillende eigenschappen.

In dit proefschrift is een universele benadering gevolgd voor het ontwerp van voorspellende regelaars voor lineaire SISO processen. Dit is gedaan door gebruik te maken van een universeel procesmodel in combinatie met een universele criteriumfunctie. Het procesmodel kan worden gebruikt voor o.a. ARIMAX en impuls responsie modellen. Verder bevat het universele procesmodel een verstoringsmodel. De resulterende voorspellende regelaar is Unified Predictive Controller (UPC) genoemd. In dit proefschrift is speciale aandacht besteed aan het ontwerp van de UPC regelaar en aan de invloed van het verstoringsmodel op het gedrag van het gesloten lus systeem. Het is aangetoond dat het optimalisatie probleem analytisch kan worden opgelost. Het resultaat is een lineaire regelaar die eenvoudig in een computer kan worden geïmplementeerd. Ook is aange-

toond dat het verstoringsmodel een belangrijke invloed heeft op de robuustheid en het regelateurgedrag van het regelsysteem. Een gedetailleerde analyse van de UPC regelaar heeft laten zien dat deze regelaar niet alleen een aantal bekende voorspellende regelaars zoals de MAC, GPC en DMC regelaars generaliseert, maar ook een aantal andere regelaars zoals minimum variantie en poolplaatsende regelaars.

Een gevolg van de universele aanpak is dat de UPC regelaar een groot aantal parameters heeft die door de ontwerper moeten worden ingesteld. Een simulatiestudie is verricht om inzicht te krijgen in de invloed van deze parameters op het systeem gedrag. Gebaseerd op theoretische resultaten en op de resultaten verkregen uit de simulaties is een aantal vuistregels opgesteld die kunnen worden gebruikt om de regelaar (grof) in te stellen. Het instellen van de regelaar met behulp van de vuistregels leidt in de meeste gevallen tot acceptabele resultaten. Echter in sommige gevallen is een fijninstelling noodzakelijk. In het proefschrift zijn enige methoden voor fijninstelling van de regelaar beschreven.

In de praktijk is de regelaaruitgang altijd begrensd. Wanneer de begrenzingen niet worden meegenomen in het regelaarontwerp kan de performance van het regelsysteem zeer slecht worden; het systeem kan zelfs instabiel worden. In voorspellende regelaars kunnen begrenzingen op de uitgang van de regelaar op een natuurlijke manier worden geïntegreerd. Het resultaat is echter dat een niet-lineair optimalisatie probleem moet worden opgelost. In dit proefschrift zijn alleen amplitude- en snelheids begrenzingen beschouwd. Voor het oplossen van het optimalisatie probleem is de gradient projectie methode van Rosen gebruikt. Doordat de begrenzingen relatief simpel zijn kan deze methode sterk worden vereenvoudigd. Een en ander heeft geleid tot een optimalisatie methode die speciaal geschikt is gemaakt om het optimalisatie probleem met amplitude- en snelheids begrenzingen op te lossen. Deze methode is DGP (Dedicated Gradient Projection) genoemd. Een heuristisch algoritme genaamd ACH (Active Constraint Handling) is ontwikkeld om een startpunt te vinden voor de optimalisatie procedure. Omdat het door het ACH algoritme gevonden startpunt in het algemeen dicht bij de optimale oplossing ligt, wordt een snelle convergentie van het DGP algoritme verkregen. Door de begrenzingen op de regelaar uitgang mee te nemen in het genereren van de optimale stuurreeks over de voorspellingshorizon wordt een veel beter gedrag van het regelsysteem verkregen vergeleken met het gedrag van het systeem wanneer de begrenzingen niet worden meegenomen.

Tenslotte laten twee industriële toepassingen zien dat de UPC regelaar niet alleen geschikt is om simulaties uit te voeren maar ook kan worden gebruikt om echte processen te regelen.

* * *

MODEL REFERENCE ADAPTIVE CONTROL

Bridging the gap between theory and practice.
Door H. Butler.
27 november 1990.
Promotoren:
Prof.ir. G. Honderd,
Prof.dr.ir. J. van Amerongen.

Sinds het verkrijgen van stabiliteitsbewijzen voor model referentie adaptieve regelingen (MRAC) in het begin van de jaren 80, is veel werk verricht om de strikte aannames die nodig waren te verlichten. De robuustheid van MRAC met betrekking tot externe verstoringen en ongemodelleerde dynamica heeft in de literatuur veel aandacht gekregen. Op dit moment is een goed begrip aanwezig van de mechanismes die een rol spelen in adaptieve systemen, en voor belangrijke klassen van verstoringen zijn standaard oplossingen voorhanden. Momenteel wordt gewerkt aan het uitbreiden van het toepassingsgebied van MRAC met niet-lineaire systemen, en systemen met meer ingangen en uitgangen.

Dit proefschrift heeft als doel de theorie en de praktijk van MRAC dichter bij elkaar te brengen. Een belangrijke observatie is dat het in een aantal situaties mogelijk is het foutsignaal, dat door de adaptatie wordt gebruikt, zodanig te veranderen dat het effect van een bepaalde verstoring op het foutsignaal wordt verminderd. Op zo'n manier wordt voorkomen dat het adaptatiemechanisme op de verstoring reageert. Voor verschillende types verstoringen is een dergelijke filosofie uitgewerkt.

Wanneer in de overdrachtsfunctie van het proces dode tijd aanwezig is, kan een nieuw "orthogonaal foutsignaal" worden gebruikt, dat heuristisch een betere maat is voor het werkelijke verschil tussen de proces- en modeluitgang. Bij het orthogonale foutsignaal wordt getracht het effect van de dode tijd op het foutsignaal te verminderen, zodat de adaptatie niet reageert op de dode tijd en de stabiliteitseigenschappen van het adaptieve systeem worden verbeterd.

Modificatie van het foutsignaal kan ook worden gezien als aanpassing van het referentiemodel. In dit proefschrift wordt het begrip gestructureerde ongemodelleerde dynamica geïntroduceerd als dynamica in het proces waarvan het bestaan bekend is, maar die bij het regelaarontwerp buiten beschouwing wordt gelaten om de complexiteit van de regelaar laag te houden. In tegenstelling tot hoogfrequente ongemodelleerde dynamica zoals die vaak in de literatuur wordt beschouwd, heeft de gestructureerde ongemodelleerde dynamica vaak een aanzienlijk effect op de procesuitgang, en ligt deze in hetzelfde frequentiegebied als de bandbreedte van het proces. Kennis over de structuur van deze dynamica wordt gebruikt voor het uitbreiden van het referentiemodel met een decompositiemodel. Dit decompositiemodel wordt mede beïnvloed door de procesuitgang en heeft als doel in de modeluitgang een vergelijkbaar "ongemodelleerd" gedeelte te creëren als in de procesuitgang aanwezig is. Op deze manier wordt het foutsignaal ongevoelig voor de gestructureerde ongemodelleerde dynamica. Theoretisch gezien geeft dit verbeterde stabiliteitseigenschappen van het adaptieve systeem. Praktisch betekent de decompositiemethode een directe aanpassing van de uitgang van het referentiemodel aan de werkelijke "model matching" mogelijkheden van de (lage-orde) regelaar.

Een adaptieve vorm van modelaanpassing kan worden toegepast wanneer gebruik van een vast referentiemodel niet gewenst is, bijvoorbeeld wanneer de specificaties niet in de vorm van een vast model zijn te geven.

Bij het ontwerp van een tijdoptimale regeling voor een direct drive DC motor hangt het gewenste gedrag sterk af van het (onbekende) traagheidsmoment van de last, en kan een vast referentiemodel niet worden gebruikt. Aanpassing van het refentiemodel op basis van een schatting van het traagheidsmoment met de kleinste-kwadraten methode geeft het gewenste tijdoptimale gedrag.

Directe modelaanpassing kan ook worden gebruikt in eenvoudige gevallen van multi-input, multi-output model refentie adaptief regelen. Wanneer er kennis is over de interactie tussen de diverse subprocessen, kan deze worden gebruikt om in het referentiemodel een soortgelijk effect te creëren. Op een dergelijke manier kan het effect van de interactie op het foutsignaal weer worden verminderd.

De strategie van het aanpassen van het foutsignaal of het referentiemodel is nuttig in gevallen dat het gelijk maken van de gesloten lus aan het referentiemodel niet mogelijk is (bij dode tijd of ongemodelleerde dynamica). Ook kan modelaanpassing plaatsvinden wanneer een vast referentie-

model niet het gewenste gedrag oplevert (zoals in het geval van de direct-drive motor). In alle beschreven gevallen werd niet voldaan aan bepaalde voorwaarden nodig voor het regelaarontwerp, namelijk de "perfect model matching" voorwaarde en de lineariteitsvoorwaarde. Aanpassing van het foutsignaal, en on-line verandering van het referentiemodel, vergroten aldus de klasse van processen waarvoor MRAC met succes kan worden toegepast.

* * *

DESIGN AND IMPLEMENTATION OF HIGHLY PARALLEL PIPELINED VLSI SYSTEMS

Door A.A.J. de Lange.
24 januari 1991.
Promotor:
Prof.dr.ir. P.M. Dewilde.

Voor de toepassing van moderne signaal- en beeldbewerkingstechnieken in nieuwe consumentenprodukten (b.v. Hoge Definitie Televisie, communicatie, computer-animatie, geologische ontginning, optimalisatieproblemen, enz.) is het nodig dat grote hoeveelheden invoergegevens met hoge snelheid kunnen worden verwerkt [Dij89, Kun88]. Deze eisen kunnen niet vervuld worden door sequentiële rekentuigen, zelfs niet als ze uitgerust zijn met zeer snelle verwerkingseenheden, omdat alle berekeningen serieel op een centrale verwerkingseenheid worden uitgevoerd. Bovendien is de prijs van dit soort snelle rekentuigen te hoog om economisch verantwoord toegepast te kunnen worden in consumentenprodukten. Een grote toename in de verwerkingssnelheid wordt bereikt als meerdere verwerkingseenheden gelijktijdig kunnen rekenen op de stroom van invoergegevens. Helaas is het moeilijk om systemen te ontwerpen die bestaan uit meerdere verwerkingseenheden, omdat het beheer van het geheugen en de uitwisseling van gegevens tussen de verschillende verwerkingseenheden ingewikkelder wordt naarmate het aantal verwerkingseenheden groter wordt. Ook is het moeilijk om zulke parallelle systemen te programmeren. Namelijk de verdeling van berekeningen over de verschillende verwerkingseenheden en de synchronisering van gerelateerde taken is een moeilijk karwei.

Dit proefschrift presenteert een methodologie en zijn realisatie in een prototype CAD (computer ondersteund-ontwerp) systeem [Lan90] voor het ontwerp en de analyse van complexe systemen bestaande uit meerdere verwerkingseenheden (ook processoren genaamd). Het levert een geschikt model [Hoe90] voor de beschrijving en analyse van dit soort systemen en is goed in staat de relevante eigenschappen hiervan op verschillende niveaus van abstractie te karakteriseren. Bijvoorbeeld in de eerste fase van het ontwerp, is de ontwerper slechts geïnteresseerd in de structuur van het parallelle systeem en de juiste werking hiervan. Dit betekent dat de ontwerper in staat is een parallel systeem te ontwerpen op het niveau van abstractie waar implementatie details zoals interne vertragingen, klokken, voedingsbronnen, enz. kunnen worden weggelaten. In de volgende stap, kan het volledig parallelle systeem gesynchroniseerd worden door kloksignalen en geklokte geheugens in te voeren.

Het ontwerp van een complex systeem is een iteratief proces waarin gedragsspecificaties van de onderdelen van het systeem worden verfijnd in structurele beschrijvingen die bestaan uit verbindingen tussen de componenten van een lager niveau die opnieuw verfijnd dienen te worden, enz.. Het model dat beschreven wordt in dit proefschrift is voldoende krachtig om het ontwerp van parallelle systemen te beschrijven van gedragsspecificaties op hoog niveau tot implementaties op het niveau van logische poorten. Hoofdstuk 2 beschrijft een model voor de representatie en analyse van parallelle systemen op verschillende niveaus van abstractie. Het beschrijft de implementatie van een CAD-systeem voor parallelle systemen dat gebaseerd is op dit model. Bovendien beschrijft dit hoofdstuk een hoog-niveau ontwerptaal, een object-georiënteerd ontwikkelingspakket om softwaregereedschappen te maken, een beheersysteem voor ontwerpgegevens, en een aantal ontwerp- en analysegereedschappen zoals een hoog-niveau-simulator en een grafisch ontwerpprogramma. Al deze programma's zijn geïntegreerd in het prototype CAD systeem voor parallelle systemen.

In een belangrijke klasse van parallelle algoritmen in de signaal- en beeldbewerking voor spectrale analyse, filteren, simulatie, computer-animatie, geologische ontginning, enz., stromen gegevens plaatselijk van de ene bewerking naar de andere op een regelmatige manier [Kun88, Lan90a]. Hier moet de verwerkingssnelheid van invoergegevens hoog tot zeer hoog zijn, omdat deze algoritmen veel gegevens in korte tijd moeten bewerken. Denk bijvoorbeeld aan computer-animatie, simulatie en geologische ontginning. Klaarblijkelijk kunnen deze algoritmen het best uitgevoerd worden op parallelle rekentuigen. Een relatief goedkope toepassing-specifieke parallelle computer, die goed geschikt is om algoritmen uit te voeren met lokale en semi-reguliere datastroom, is de systolische-array of golffront-array. Het heeft een eenvoudige architectuur: het bestaat uit een array van regelmatig en plaatselijk doorverbonden processoren. In [Bu90] is bewezen dat een efficiënt processor-array kan worden gesynthetiseerd voor een bepaalde klasse van semi-reguliere algoritmen. Een semi-regulier algoritme bestaat uit verschillende strikt regelmatige delen die slechts onregelmatig kunnen zijn op de grenzen tussen de verschillende regelmatige delen en op de in- en uitvoerpunten van het algoritme. In [Bu90] wordt een procedure geschetst voor de synthese van semi-reguliere arrays. In hoofdstuk 3 geven wij een gedetailleerde procedure voor de synthese van semi-reguliere arrays. Het beschrijft hoe de architectuur van de processor array semi-automatisch kan worden afgeleid voor een gegeven semi-regulier algoritme. Het geeft procedures om het schakelen van in- en uitvoerdatastromen te berekenen, om het geheugenbeheer te bepalen en de besturing van de array af te leiden. Ook worden procedures beschreven voor de serialisering en segmentering van de stroom van in- en uitvoergegevens, hetgeen noodzakelijk wordt na het opdelen van het array en het samenvoegen van processors in de syntheseprocedures (zie hoofdstuk 3). Alle procedures hebben een lage tijd/ruimtecomplexiteit, welke maximaal gelijk is aan de complexiteit van de stroom van invoergegevens [Lan91].

Nadat de architectuur en besturing van een parallel systeem zijn ontworpen, vergelijkt de ontwerper het met de oorspronkelijke specificaties van het systeem door gebruik te maken van simulatie en timing-verificatie (zie hoofdstuk 2). Vervolgens wordt iedere component in de architectuur afgebeeld op een module of een modulegenerator in een symbolische lay-outbibliotheek. Modulegenerators worden geïnstantieerd door de waarden van parameters in de originele architecturele componenten. Hierna wordt hun symbolische lay-out gecompacteerd voor de ontwerpregels van de gebruikte IC(VLSI)-technologie. Uiteindelijk worden de modules geplaatst en bedraad. Het proces van symbolische lay-out-compactie van hiërarchisch geconstrueerde modules wordt beschreven in hoofdstuk 4. Het behandelt methodes en softwaregereedschappen voor de modellering en compactie van hiërarchische symbolische lay-out [Lan89].

Een illustratief voorbeeld van het ontwerp van een complexe rekenkundige processor, de zgn. CORDIC processor [Lan88, Lan90b], wordt gegeven in hoofdstuk 5. Deze processor is een bruikbaar bouwblok voor een aantal systemen in de signaal/beeldbewerking die in hoge mate parallel en gepijplijnd zijn. De processor bestaat uit een pijpleiding op woordniveau en bevat twee parallelle datapaden. De ontwerpmethodologie van hoofdstuk

2 wordt gebruikt om deze processor te ontwerpen en te analyseren. De processor is geïntegreerd in een 1,5 μ CMOS-technologie, bevat 70.000 transistoren en werkt correct bij een verwerkingssnelheid van 15 miljoen drijvende-komma-operaties per seconde.

Literatuur

Bu90. J. Bu, "Systematic Design of Regular VLSI Processor Arrays", Ph.D. Thesis, Delft University of Technology, The Netherlands (1990).

Dij89. H. Dijkstra, G. Essink, A.J.M. Hafkamp, H. den Hengst, C.M. Huizer, A.H.M. van Roermund, R.J. Sluyter, and P.J. Snijder, "A General Purpose Video Signal Processor: Architecture and Programming", *Proc. ICCD 89*, pp. 74-77 (October 2-4, 1989).

Hoe90. A.J. van der Hoeven, A.A.J. de Lange, E.F. Deprettere, and P.M. Dewilde, "A New Model for the High Level Description and Simulation of VLSI Networks", *MICRO Magazine* (August 1990).

Kun88. S.Y. Kung, *VLSI Array Processors*, Prentice-Hall International, Englewood-Cliffs, NJ 07632 (1988).

Lan90. A.A.J. de Lange, A.J. van der Hoeven, E.F. Deprettere, and P.M. Dewilde, "HiFi: An Object Oriented System for the Structural Synthesis of Signal Processing Algorithms and the VLSI Compilation of Signal Flow Graphs", pp. 321-340 in *Formal VLSI Specification and Synthesis*, ed. L.J.M. Claesen, North-Holland (1990).

Lan88. A.A.J. de Lange, A.J. van der Hoeven, E.F. Deprettere, and J. Bu, "An Optimal Floating Point Pipelined CMOS CORDIC Processor", *Proceedings International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS)*, pp. 2043-2047 (June, 1988).

Lan89. A.A.J. de Lange, J.S.J. de Lange, and J.F. Vink, "A Hierarchical Constraint Graph Generation and Compaction System for Symbolic Layout", *Proc. ICCD 1989*, pp. 532-535 (October 2-4, 1989).

Lan90b. A.A.J. de Lange, A.J. van der Hoeven, E.F. Deprettere, and P.M. Dewilde, "An Application Specific IC for Digital Signal Processing: the Floating Point Pipeline CORDIC Processor", *proc. EURO ASIC 90* (May 1990).

Lan90a. A.A.J. de Lange, E.F. Deprettere, and A.J. van der Veen, "Real Time Applications of the Floating Point Pipeline CORDIC Processor in Massively Parallel Pipelined DSP Algorithms", *proc. International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP)* (April 1990).

Lan91. A.A.J. de Lange, E.F. Deprettere, and P.M. Dewilde, "Hierarchical Parameterized Design of Semi Regular Processor Arrays", in *Algorithms and Parallel VLSI Architectures*, ed. E.F. Deprettere, Elsevier Science Publishers B.V. (1991).

* * *

SCATTERING BY OBJECTS WITH ELECTRIC CONTRAST

Door A.P.M. Zwamborn.
17 juni 1991.
Promotor:
Prof.dr.ir. P.M. van den Berg.

De numerieke modellering van het probleem van elektromagnetische verstrooiing door een object vindt zijn toepassing in allerlei gebieden, bijvoorbeeld de geophysische exploratie, de elektromagnetische compatibiliteit en de hyperthermie. In al deze toepassingen vindt elektromagnetische golfvoortplanting plaats in sterk inhomogene (mogelijk verliezend en anisotroop) diëlektrische media. De bepaling van het totale elektromagnetische veld is het uiteindelijke doel. Voor eenvoudige configuraties, zoals de ééndimensionale slab, de oneindig lange, radiaal gelaagde cylinder of de radiaal gelaagde bol zijn analytische oplossingen bekend. Echter, voor meer gecompliceerde configuraties, moet men gebruik maken van numerieke methoden om het totale elektromagnetische veld te bepalen.

In hoofdstuk 2 worden de vergelijkingen van Maxwell, waaraan het elektromagnetische veld in een gegeven medium moet voldoen, gegeven. De vergelijkingen van Maxwell zijn partiële differentiaalvergelijkingen van de eerste orde. De onafhankelijke veranderlijken zijn de plaatscoördinaten en de tijd. Het medium is gespecificeerd als zijnde lineair, tijdinvariant, lokaal reagerend en het medium vertoont in zijn magnetische eigenschappen geen contrast met vacuüm. Alle bronnen die het totale elektromagnetische veld in de configuratie genereren zijn elektrische stromen. In de theoretische formulering wordt allereerst een laplacetransformatie uitgevoerd met betrekking tot de tijdcoördinaat. Het causale karakter is op eenvoudige wijze verzekerd door analytische eisen op te leggen aan alle grootheden in het rechter halfvlak van de complexe laplacevariabele. Het tijdharmonische gedrag van een configuratie wordt beschouwd als een limietgeval in het laplacedomein waarbij de laplacevariabele zuiver imaginair is. Vervolgens wordt een fouriertransformatie met betrekking tot de plaatscoördinaten uitgevoerd. Na het uitvoeren van de laplace- en fouriertransformatie zijn de vergelijkingen van Maxwell algebraïsche vergelijkingen. Door eliminatie van het magnetische veld uit deze vergelijkingen wordt de bronvoorstelling voor het elektrische veld afgeleid. Daarna wordt door eliminatie van het elektrische veld de bronvoorstelling voor het magnetische veld afgeleid. Door het punt van observatie in het verstrooiende object te kiezen, gaat de bronvoorstelling over in een domeinintegraalvergelijking.

Een domeinintegraalvergelijking wordt eerst geformuleerd voor het probleem van de elektromagnetische verstrooiing door een oneindig dunne, volkomen geleidende vlakke plaat. Vervolgens worden domeinintegraalvergelijkingen geformuleerd, die het probleem beschrijven van de verstrooiing door een sterk inhomogeen, verliezend en anisotroop diëlektrisch object.

De verkregen domeinintegraalvergelijkingen zijn van het convolutietype, hetgeen de numerieke evaluatie vereenvoudigt, zodat men gebruik kan maken van "Fast Fourier Transform" algoritmes. De numerieke implementatie van de desbetreffende domeinintegraalvergelijkingen wordt echter bemoeilijkt door hun hypersingulier gedrag. Dit hypersingulier gedrag wordt veroorzaakt door de aanwezigheid van afgeleiden naar de plaatscoördinaten die werken op de singuliere Greense functie. De numerieke evaluatie van deze domeinintegraalvergelijking in sterke vorm wordt verkregen door een zwakke formulering te introduceren. Vervolgens wordt de zwakke vorm van de integraalvergelijking beschouwd als een equivalent voor de desbetreffende domeinintegraalvergelijking in sterke vorm.

In hoofdstuk 3 wordt een zwakke vorm van de domeinintegraalvergelijkingen verkregen voor het probleem van de verstrooiing door een oneindig dunne, volkomen geleidende vlakke plaat en voor het probleem van de verstrooiing door een sterk inhomogeen diëlektrisch object. Deze zwakke vormen blijken bij uitstek geschikt te zijn voor de numerieke implementatie van de genoemde verstrooiingsproblemen. In deze formulering worden de afgeleiden naar de plaatscoördinaten analytisch geïntegreerd; een convergente integraal over de singuliere Greense functie blijft over. De numerieke bepaling van deze integraal, die van het convolutietype is, wordt beschreven in hoofdstuk 4. In verband met consistentie wordt de bekende term van de domeinintegraalvergelijking ook in de zwakke vorm beschouwd.

In hoofdstuk 4 wordt een beschrijving gegeven van de berekeningsmethode van de elektrische vectorpotentiaal. De elektrische vectorpotentiaal is een ruimtelijke convolutie van de singuliere Greense functie en de gegeven brondichtheden. Met betrekking tot de vectorpotentiaal en de Greense functie wordt het bolgemiddelde ingevoerd, en de singulariteit wordt op een eenvoudige wijze analytisch bepaald. De integraal van het bolgemiddelde van de Greense functie en de brondichtheden worden numeriek berekend met behulp van een trapeziumregel. Het resultaat is een discrete som van het convolutietype; deze convolutie is efficiënt te evalueren door gebruik te maken van een "Fast Fourier Transform" algoritme.

In hoofdstuk 5 worden enige iteratieve schema's gegeven die tot doel hebben om een integraalvergelijking snel en efficiënt op te lossen. Vanwege de beperkte geheugenruimte die beschikbaar is op de computer, is gekozen voor de methode van geconjugeerde gradiënten.

De presentatie van de numerieke resultaten van de elektromagnetische verstrooiing door een oneindig dunne, volkomen geleidende vlakke plaat wordt gegeven in hoofdstuk 6. Voor rechthoekige plaatconfiguraties wordt het verstrooiingsprobleem opgelost voor een invallende uniforme vlakke golf. Vervolgens wordt het verstrooiingsprobleem beschouwd in geval het invallend veld gegenereerd wordt door een puntbron. Uit de gepresenteerde numerieke resultaten blijkt dat de huidige zwakke formulering bij uitstek geschikt is voor numerieke implementatie.

De presentatie van de numerieke resultaten van de elektromagnetische verstrooiing door een sterk inhomogeen, verliezend en isotroop diëlektrisch object wordt gegeven in hoofdstuk 7. Voor configuraties die een radiaal gelaagde bol modelleren, wordt de efficiëntie en nauwkeurigheid van de huidige zwakke formulering aangetoond: de numerieke resultaten worden vergeleken met analytische oplossingen, die voor deze configuraties bekend zijn. Vervolgens wordt de verstrooiing door een inhomogene kubus en een sterk verliezende plak beschouwd. Uit de gepresenteerde numerieke resultaten blijkt dat de huidige zwakke formulering bij uitstek geschikt is voor numerieke implementatie.

NEDERLANDS ELEKTRONICA- EN RADIOGENOOTSCHAP
AUDIO ENGINEERING SOCIETY
392e werkvergadering

UITNODIGING voor de lezingen- en demonstratieavond op dinsdag 3 december 1991 in de grote zaal van het Academisch Genootschap, Parklaan 93 te Eindhoven.

THEMA: DIGITAL COMPACT CASSETTE (DCC)

PROGRAMMA:

19.00 - 19.15 uur :	Ontvangst, koffie en thee
19.15 - 19.45 uur:	Commerciële uitgangspunten van DCC **IR. R. ROTH,** Philips Consumer Electronics
19.45 - 20.15 uur:	Technische aspecten van DCC **IR. G. C. P. LOKHOFF,** Philips Consumer Electronics
20.15 - 20.30 uur:	**DEMONSTRATIE DCC**
20.30 - 21.00 uur:	**RONDVRAAG EN SLUITING**

Aanmelding voor deze avond dient te geschieden vóór 19 NOVEMBER aanstaande door middel van de aangehechte kaart, gefrankeerd met een postzegel van 60 cent.

Het aantal deelnemers is beperkt tot 120. Tijdstip van ontvangst van aanmelding is beslissend voor deelname. Als blijkt dat u wegens overtekening niet kunt deelnemen, ontvangt u hierover van ons bericht.

De Parklaan is te bereiken door vanaf de voorzijde van het NS-station ca. 10 minuten in oostelijke richting te lopen.

Leden van NERG, AES en studenten hebben gratis toegang. De kosten van deelname voor niet-leden bedragen f 15,00. Betalingen dienen vóór 19 november te zijn ontvangen op girorekening 164515 t.n.v. Penningmeester NERG, Postbus 39, 2260 AA Leidschendam.
Deelnemers dienen de uitnodigingskaart mee te nemen en op verzoek te tonen bij de toegang tot de zaal.

Namens de samenwerkende verenigingen,
Dr. Ir. J. W. M. Bergmans, NERG
Tel. 040 - 743689
Ir. P. R. J. M. Smits, NERG
Tel. 070 - 3323600

Eindhoven, oktober 1991

PLATO - A PIECEWISE LINEAR ANALYSIS TOOL FOR MIXED-LEVEL CIRCUIT SIMULATION

Door M.T. van Stiphout.
18 mei 1990.
Promotoren:
Prof.dr.ing. J.A.G. Jess,
Prof.dr.ir. W.M.G. van Bokhoven.

Sinds de ontwikkeling van de eerste circuit simulatie programma's, ongeveer twintig jaar geleden, zijn vele nieuwe ideeën en abstractie niveaus (denk bijvoorbeeld aan gedragssimulatie, logische simulatie, functionele simulatie, etc.) geïntroduceerd. Voor diverse niveaus zijn commerciële simulatoren verkrijgbaar. Desondanks wordt circuit simulatie in de industrie nog erg vaak gebruikt. De computersystemen die nodig zijn om de simulatiebehoeften van de ontwerpers met betrekking tot circuit analyse te bevredigen worden echter steeds groter en sneller, aangezien de te simuleren schakelingen nog steeds in grootte toenemen.

In dit proefschrift worden technieken behandeld die een aanzet vormen tot het elimineren van een aantal van de nadelen die aan de huidige circuit simulatoren zijn verbonden. Het gebrek aan flexibiliteit met betrekking tot het introduceren van nieuwe modellen en de toepassing van macromodellen wordt geëlimineerd door de introductie van stuksgewijs lineaire modellen voor alle componenten. Het gebruik van macromodellen voor gedeelten van de schakeling waarvan het gedrag reeds in detail bekend is, kan de simulatie aanzienlijk versnellen. Daarbij levert de uniforme modellering van alle componenten een elegante manier om *mixed-level* simulatie te implementeren. Diverse andere simulatoren ondersteunen *mixed-level* simulatie door voor ieder subcircuit dat op een ander niveau moet worden gesimuleerd een ander algoritme te kiezen. Een belangrijk voordeel van de nieuwe simulator is de sterk verbeterde convergentie in vergelijking met de klassieke iteratieve methoden. Deze eigenschap is karakteristiek voor de algoritmen die we gebruiken voor het oplossen van de stuksgewijs lineaire vergelijkingen.

Afgezien van stuksgewijs lineaire modellering steunt de simulator op twee belangrijke principes: multirate integratie en ijle incrementele technieken. Het idee achter *multirate* integratie is het exploiteren van subcircuits die (tijdelijk) in rust verkeren door ze te integreren met een grote integratie stap. Erg actieve subcircuits kunnen dan worden geïntegreerd met kleinere stapgrootten. In principe kan hierdoor veel rekentijd worden bespaard aangezien er voornamelijk wordt gerekend in de actieve circuit gedeelten. Het herhaald oplossen van grote ijle lineaire systemen zoals dat gebeurt in conventionele simulatoren wordt voorkomen door middel van de ijle incrementele methoden. Deze methoden zijn bijzonder geschikt voor operaties die samenhangen met het stuksgewijs lineaire karakter van de algoritmen. Ook passen ze perfect bij het *event driven* integratie schema waarin vaak selectieve veranderingen voorkomen. Merk op dat de simulator weliswaar zonder enig probleem op bijvoorbeeld het logische niveau kan simuleren, maar dat hij nooit de snelheid van een speciaal voor logische simulatie ontworpen programma kan evenaren. We willen hier nogmaals benadrukken dat de simulator op vele niveaus tegelijk kan simuleren. Het is dan ook niet eerlijk om een van deze niveaus te selecteren en de resultaten te vergelijken met een speciaal op dat niveau toegesneden programma.

Tot slot moeten we concluderen dat een evaluatie van de methoden zoals ze in dit proefschrift worden voorgesteld een positieve indruk achterlaat. De belangrijkste principes blijken efficiënt te werken hoewel de numerieke integratie nog verder geoptimaliseerd moet worden om een echt snel simulatieprogramma te verkrijgen. Diverse (*mixed-level*) circuits zijn echter met succes gemodelleerd en gesimuleerd.

* * *

AN ANALYTICAL ALGORITHM FOR SOLVING INHOMOGENEOUS ELECTROMAGNETIC BOUNDARY-VALUE PROBLEMS FOR A SET OF COAXIAL CIRCULAR CYLINDERS

Door A.M.J. van Amelsfort.
14 september 1990.
Promotoren:
Prof.dr. M.P.H. Weenink,
Prof.dr. G.W. Veltkamp.

Elektromagnetische velden kunnen invloed uitoefenen op het functioneren van levend weefsel. Als een van de mogelijke toepassingen van dit verschijnsel wordt geprobeerd botgroei te stimuleren met behulp van elektromagnetische velden. Om het mechanisme van elektromagnetische stimulatie van botgroei te achterhalen is kennis over het kunstmatig opgewekte elektromagnetische veld in bot of botfractuur nodig.

In dit proefschrift wordt een methode beschreven waarmee het elektromagnetische veld in een geïdealiseerd been kan worden bepaald, dat wordt opgewekt door twee spoelen. De methode omvat twee afzonderlijke delen. Uitgaande van de wetten van Maxwell en de randvoorwaarden wordt in het eerste deel voor de geïdealiseerde configuratie het randwaardeprobleem gedefinieerd en formeel opgelost. Voor het afleiden van de oplossing wordt gebruik gemaakt van integraaltransformaties en matrixtheorie. In het tweede deel wordt een analytisch algoritme afgeleid waarmee de oplossing kan worden berekend. Een belangrijk onderdeel van deze afleiding is de eliminatie van overbodige termen. Dit zijn termen in een uitdrukking die na gedetailleerde algebraïsche analyse twee keer maar met tegengesteld teken blijken voor te komen. Deze termen vallen tegen elkaar weg. Voor een systematische eliminatie van overbodige termen wordt het concept van *compound matrices* algebraisch toegepast. Vergelijking van de numerieke resultaten van het analytisch algoritme met die van twee zuiver numerieke methoden laat zien dat de overbodige termen verantwoordelijk zijn voor een deel van het verlies van numerieke nauwkeurigheid.

Een computerimplementatie van het analytische algoritme is uitgevoerd voor het bepalen van de elektromagnetische veldverdeling in een beenmodel bestaande uit merg, anisotroop bot-weefsel, anisotroop spier-weefsel en vet, omgeven door lucht. Het veld wordt opgewekt door twee zadelspoelen. Bestudering van de berekende elektrische veldsterkten toont het volgende aan. Bij de gebruikte waarden van de modelparameters heeft het geïnduceerde elektrische veld een verwaarloosbaar effect op het magnetische veld. De invloed van een weefsellaag op het elektrische veld is groter naarmate

- de relatieve permittiviteit groter is;
- het specifieke geleidingsvermogen groter is;
- het volume van de laag groter is;
- de afstand tussen de laag en de spoel kleiner is.

Ondanks de lage frequentie van de spoelstroom is de elektrische veldsterkte in het algemeen niet evenredig met deze frequentie; dit blijkt duidelijk als de anisotropie van bot- en spierweefsel in rekening wordt gebracht.

Tenslotte blijkt dat het magnetische veld in het centrale gebied tussen de twee zadelspoelen tamelijk uniform verdeeld is, maar dat de sterkte van de elektrische component daar zelfs tot nul afneemt. De elektrische component vertoont juist een maximum nabij de axiale eindvlakken van de spoelen. Aangenomen dat de sterkte van de elektrische component bepalend is voor de elektromagnetische stimulatie van botgroei, dan zouden de spoelen zo geplaatst moeten worden dat het fractuurgebied zich nabij een van de axiale eindvlakken bevindt. Daar is het elektrische veld het sterkst.

* * *

NOBLE GAS DISK MHD GENERATOR PERFORMANCE WITH UNSTABLE NONEQUILIBRIUM PLASMA

Door P.R. Karavassilev.

16 oktober 1990.

Promotoren:

Prof.dr. L.H.TH. Rietjens,

Prof.dr. B.J. Stefanov.

Deze studie is gericht op diskusvormige Magneto - Hydro - Dynamische generatoren die werken met heet argon of helium gas, ingezaaid met cesium. Het onderzoek omvat drie gedeelten:

i) experimenten;

ii) analyse van de experimentele resultaten;

iii) een diskus generator model.

De experimenten zijn uitgevoerd met gebruik van een schokbuis als plasmabron. De opstelling levert voor de duur van ongeveer $5x10^{-3}$s een plasmastroom met een thermisch vermogen tot ca. 5 MW. Bedrijfscondities zoals de ingangsstagnatiedruk, ingangsstagnatie-temperatuur, magnetische inductie en inzaaifractie kunnen worden ingesteld. Een absorptiemeting wordt gebruikt voor bepaling van de inzaaiconcentratie.

Drie ontwerpen van diskusgeneratoren zijn onderzocht. Metingen van de radiale verdeling van de statische druk in het plasma, de spanningsverdeling en de radiale component van de gegenereerde stroom zijn uitgevoerd, alle als functie van de tijd. Voor de meting van de azimutale component van de stroom is een Rogowski-spoel toegepast. Informatie voor de snelheid van de gasstroom is verkregen door middel van streak fotografie. De ontladingsstructuur van het plasma is aanschouwelijk gemaakt met behulp van snelle framing fotografie. Hoogfrequente sampling van de optische straling van het plasma is toegepast voor de bepaling van de electronendichtheid en electronentemperatuur.

Quasi-stationaire waarden van de electrische en gasdynamische grootheden zijn gevonden met behulp van gemiddelden van de in de tijd opgeloste metingen over een testinterval van $1x10^{-3}$s voor de experimenten in argon met cesium, en over een testinterval van $0.6x10^{-3}$s voor de experimenten in helium met cesium. Sterk inhomogene plasmas zijn waargenomen bij de verschillende bedrijfscondities.

In de analyse van de experimentele resultaten zijn effectieve Hall parameters en effectieve geleidingsvermogens gevonden als functies van de straal voor iedere experimentele run. De analyse is gebaseerd op de oplossing van de quasi-ééndimensionale gasdynamische vergelijkingen met inbegrip van de magnetische interactie, wrijving met de wanden en warmteverliezen. De ingangsstagnatiedruk en -temperatuur, de radiale spanningsverdeling, de radiale stroom, de magnetische inductie en de generatorgeometrie leveren de numerieke gegevens voor de berekeningen. De berekende statische druk, azimutale stroom en radiale component van de gasstroomsnelheid zijn aangepast aan de overeenkomstige gemeten grootheden. De waarden van de effectieve Hall parameter zijn gebruikt voor de aanpassing.

Afhankelijkheden zijn bepaald tussen de gevonden waarden van het effectieve geleidingsvermogen en de effectieve Hall parameter aan de ene kant, en de fysische condities in de generator (gasdichtheid, stroomdichtheid) en de parameters die het generatorgedrag bepalen (stagnatietemperatuur, magnetische inductie, inzaaifractie), aan de andere kant. De effectieve Hall parameter is benaderd met een functie van de gasdichtheid alleen. Voor de beide werkzame media liggen de gevonden waarden van de effectieve Hall parameter in het interval 1 + 3.5. Relaties voor het effectieve geleidingsvermogen zijn gevonden in het interval 10 + 95 S/m voor met cesium ingezaaid helium en in het interval 10 + 280 S/m voor met cesium ingezaaid argon. De analytische uitdrukkingen zijn gedefinieerd als semi - empirische relaties.

Een quasi - ééndimensionaal model voor diskusgeneratoren is geformuleerd, gebruikmakende van de afgeleide semi - empirische relaties. Het model is geverifieerd met de experimenten, uitgevoerd met helium - cesium en argon - cesium als werkzaam medium. De argon - cesium versie van het model is toegepast op de berekeningen van het generatorgedrag van een middelgrote diskusgenerator (140 MW thermisch ingangsvermogen) en van een grote diskusgenerator (1200 MW thermisch ingangsvermogen). De uitkomst van de berekeningen leert dat de middelgrote diskusgenerator een beter rendement heeft dan de grote generator. Voor de middelgrote generator is het berekende enthalpisch rendement (meer dan 32%) geschikt voor practische toepassingen en vergelijkbaar met het enthalpisch rendement van een grote diskus generator, zoals dat berekend wordt met behulp van de reductieformules voor het effectieve geleidingsvermogen en de effectieve Hall parameter, ontleend aan quasi - lineaire instabiliteitstheoriën.

* * *

ON 1/F NOISE IN THE OPTICAL OUTPUT OF III-V DEVICES

Door R.J. Fronen.

19 oktober 1990.

Promotoren:

Prof.dr. T.G.M. Kleinpenning,

Prof.dr. F.N. Hooge.

De hoofdkonklusie van dit proefschrift is dat de 1/f ruis in het optisch vermogen van opto-elektronische komponenten gemodelleerd kan worden met zowel fluctuaties in de absorptie koëfficient als met fluktuaties in de elektronen koncentratie.

Het is gebruikelijk de 1/f ruis in de elektrische weerstand te beschrijven met de volgende empirische relatie

$$\frac{S_\rho(\bar{r},\bar{r}',f)}{\rho^2} = \frac{\alpha}{fn}\,\delta(\bar{r}-\bar{r}') \qquad (1)$$

waarin S_ρ is de kruiskorrelatie spektrale dichtheid van de fluktuaties in de soortelijke weerstand, ρ is de soortelijke weerstand, f de frekwentie en n de koncentratie vrije elektronen. De dimensieloze parameter α wordt de Hooge parameter genoemd. De fysische oorsprong van de weerstands fluktuaties vormt het belangrijkste discussiepunt in de literatuur over deze vergelijking. De twee belangrijkste standpunten zijn:

i) De fluktuaties worden veroorzaakt door beweeglijkheids fluctuaties.

ii) De fluktuaties zijn het gevolg van fluktuaties in het aantal vrije elektronen.

Dit proefschrift behandelt 1/f fluktuaties in de lichtintensiteit van opto-elektronische komponenten zoals lasers, LED's en optische versterkers.

Een vergelijkbaar probleem als bij de weerstands fluktuaties treedt op bij de ruisanalyse van het licht van dit soort komponenten. Er zijn namelijk twee mogelijke ruisbronnen die beiden tot praktisch dezelfde resultaten leiden met betrekking tot de 1/f ruis in het lichtvermogen, te weten:

i) **Fluktuaties in de absorptie koëfficient** die op hun beurt weer leiden tot fluktuaties in de emissie ten gevolge van de koppeling beschreven door de welbekende Einstein relaties. Voor dit type ruisbron gebruiken we een empirische relatie analoog aan die voor weerstands fluktuaties, namelijk

$$\frac{S_b(\bar{r},\bar{r}',f)}{b^2} = \frac{\varepsilon_b}{fn}\,\delta(\bar{r}-\bar{r}') \qquad (2)$$

met b is de optische absorptie koëfficient en ε_b de ruisparameter.

ii) **Fluktuaties in het aantal vrije elektronen**. Hier gebruiken we

$$\frac{S_n(\bar{r},\bar{r}',f)}{n^2} = \frac{\varepsilon_n}{fn}\,\delta(\bar{r}-\bar{r}'). \qquad (3)$$

De dimensieloze ruisparameter voor dit soort fluktuaties is aangeduid met ε_n. In hoofdstuk 3 wordt voor het intrinsieke gebied van een PIN-diode de samenhang van ε_n en α besproken.

Merk op dat de twee ruisbronnen, verg. (2,3), ingevoerd worden als empirische relaties analoog aan verg. (1). Ook hier wordt een fysische verklaring niet gegeven.

In hoofdstuk 2 wordt de 1/f ruis in de emissie van diverse typen lasers met verg. (2,3) berekend en experimenteel getoetst. Het ruisgedrag van een laser blijkt sterk afhankelijk te zijn van het werkgebied. In volgorde van oplopend vermogen kan men vier werkgebieden onderscheiden, te weten:

i) Het LED gebied: Voor lage stroomsterktes wordt zowel het uitgangsvermogen als de fluktuaties beheerst door spontane emissie. Voor de spektrale dichtheid S_P van het optisch vermogen P geldt $S_P \propto P^{1.5}$.

ii) Een kort overgangsgebied: De invloed van de emissie, gestimuleerd door het optisch vermogen op weg naar de uiteinden van de trilholte wordt merkbaar, resulterend in $S_P \propto P^{2.5}$. Het overgangsgebied is alleen waarneembaar bij multimode lasers.

iii) Het superstraal gebied voor stromen vlak onder de drempelwaarde. Dit gebied is gekenschetst door een sterke toename van de emissie met een golflengte die overeenkomt met die van de longitudinale modi. Deze toename wordt veroorzaakt door gestimuleerde emissie die het gevolg is van in de trilholte rondgaand vermogen. Voor de 1/f ruis geldt $S_P \propto P^4$. Het ruisgedrag kan sterk beïnvloed worden door de aanwezigheid van reflekties buiten de trilholte.
Hiervan is het gevolg dat dan, $S_P \propto P^k$ met $6 < k > 7$.

iv) Het laser gebied: Boven de drempelwaarde heeft een vergroting van de laser stroomsterkte hoofdzakelijk een toename in koherente emissie tot gevolg. De niet-koherente emissie P_{nk} blijft min of meer konstant. Ook de ruis vertoont verzadigingsgedrag,

v) namelijk $S_P \propto P_{nk}^4$.

In hoofdstuk 4 wordt de invloed van de reflektie koëfficient van de spiegels op de ruis in het LED gebied en het superstraal gebied berekend.

De experimentele toetsing is verricht d.m.v. verlaging van de reflektie koëfficient van de spiegel aan de waarnemingszijde, al dan niet in kombinatie met een volledige reflektie aan de tegenoverliggende spiegel. De verlaging van de reflektie koëfficient is verkregen door het gedeeltelijk ingieten van de laser in Canada Balsam. Een opgedampt laagje aluminium zorgt voor volledige reflektie.

De golflengte afhankelijkheid van de ruis in een monomode laser is in hoofdstuk 5 bestudeerd. Met behulp van een monochromator is de ruis geanalyseerd in een golflengte bandje met variabele centrale golflengte en variabele bandbreedte.

De suggestie dat de 1/f ruis in de gefilterde laseremissie rechtstreeks afhankelijk is van de niet-koherente emissie, $S_P \propto P_{nk}^4$ wordt hier experimenteel bevestigd. Bestudering van de ruis in een golflengte bandje rond de laser golflengte met variabele bandbreedte toont aan voor de drie werkgebieden:

i) In het LED gebied zijn de fluktuaties bij verschillende golflengtes ongekorreleerd.

ii) In het superstraal gebied zijn deze fluktuaties gekorreleerd.

iii) Boven de laser drempel wordt de 1/f ruis beheerst door de niet-koherentie emissie in een klein bandje rond de laser golflengte.

Hoofdstuk 6 bevat een studie naar de korrelatie tussen de fluktuaties in de twee lichtbundels die de laser verlaten. In het LED gebied blijkt dat de koherentie-funktie, die deze korrelatie beschrijft, gebruikt kan worden als een maat voor de optische absorptie koëfficient. In het superstraal gebied stijgt de koherentie naar de maximum waarde één en blijft één tot boven de drempel.

Het laatste hoofdstuk geeft een ruisbeschrijving van een SLA (semiconductor laser amplifier) of optische versterker. Een SLA is in principe een laser waarvan de "spiegels" een zeer kleine reflektie koëfficient hebben door toepassing van antireflektie coatings. De ruisanalyse is daarom verwant aan die van een laser voor stromen kleiner dan de drempel waarde. Het belangrijkste verschil met een laser is het feit dat bij een SLA het rondgaand vermogen verwaarloosbaar klein is. Het werkgebied kan dientengevolge opgesplitst worden in slechts twee gebieden:

i) Een LED gebied identiek aan het LED gebied van een laser.

ii) Een overgangsgebied gekenmerkt door $S_P \propto P^{2.5}$. Dit gebied, nauwelijks waarneembaar bij lasers, is bij een SLA gemeten over een vermogenstrajekt van meer dan twee dekaden $P_{max} > 100\ P_{min}$.

Berekeningen gebaseerd op de twee mogelijke ruisbronnen tonen aan dat een bron in de absorptie koëfficient tot betere overeenstemming met experimenten aanleiding geeft dan een bron in het aantal vrije elektronen.

Omdat alle metingen op slechts één exemplaar zijn uitgevoerd, kunnen fluktuaties in het aantal vrije elektronen niet verworpen worden als mogelijke ruisbron.

De hoofdkonklusie van dit proefschrift is dat de 1/f ruis in het optisch vermogen van opto-elektronische komponenten gemodelleerd kan worden met de twee ruisbronnen die beschreven zijn met de empirische relaties:

$$\frac{S_b(\bar{r},\bar{r}',f)}{b^2} = \frac{\varepsilon_b}{fn}\,\delta(\bar{r}-\bar{r}')$$

$$\frac{S_n(\bar{r},\bar{r}',f)}{n^2} = \frac{\varepsilon_n}{fn}\,\delta(\bar{r}-\bar{r}').$$

* * *

ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY in HIGH-VOLTAGE ENGINEERING

Door M.A. van Houten.

23 oktober 1990.

Promotoren:

Prof.dr.ir. P.C.T. van der Laan,

Prof.dr. M.P.H. Weenink.

Het vakgebied Electromagnetic Compatibility (EMC) binnen de elektrotechniek heeft tot doel elektronische apparaten en elektrische systemen storingsvrij in elkaars nabijheid te laten funktioneren.

Dit proefschrift behandelt nieuwe EMC-concepten die leiden tot een doelgerichte en consistente aanpak van praktische storingsproblemen. Analyse dient methodes op te leveren om storingen te verhelpen en liefst te voorkomen. De ontwikkelde concepten worden in dit proefschrift voornamelijk toegepast in hoogspanningsinstallaties. Integratie van moderne electronica in dit soort installaties stelt hoge EMC-eisen. Electromagnetic Compatibility wordt in deze gevallen bereikt door een correcte layout toe te passen en door leidingen en extra metaal op strategische plaatsen te installeren. Overigens zijn de ontwikkelde concepten in aangepaste vorm toepasbaar binnen de gehele elektrotechniek.

Het proefschrift begint met een kritische analyse van het begrip "aarde", een onderwerp van fundamenteel belang binnen de EMC. Tengevolge van een onjuiste voorstelling van de werking van een aardingssysteem is een verwarrende praktijk ontstaan rond het zelfstandig naamwoord "aarde". Deze foute voorstelling is gekoppeld aan twee basiselementen die in de gangbare definities van "aarde" te vinden zijn, n.l.:

- Een "aarde" kan stroom opnemen of afgeven zonder daardoor in spanning te veranderen
- Een "aarde" is een punt of vlak van gelijke potentiaal dat kan dienen als referentie voor onze schakeling.

Door ons nadrukkelijk te distantiëren van het potentiaal-concept en ons te concentreren op de fysisch zinvolle stromen, op de circuits waarin deze stromen lopen en op de magnetische fluxen, hebben we een algemene beschermingsfilosofie ontwikkeld. Centraal hierin staat het begrip transferimpedantie van aardingsstructuren (*AS*-en). Met behulp van de *AS*-en creëren we beschermende gebieden waarin gevoelige elektronica probleemloos kan werken. We maken onderscheid tussen *AS*-en voor leidingen en apparaten. In deze zin vormt de geleidende buitenmantel van een coaxiale kabel als simpele *AS* ook reeds een beschermd gebied. Voor de bescherming van gevoelige instrumenten is een "EMC-kast" een onmisbaar deel van de *AS*.

De transferimpedantie van een *AS* is een belangrijk begrip omdat het een zinvol criterium oplevert voor de kwaliteit van een *AS* (samen met de hele "layout" van het "netwerk"). De vaak niet berekenbare transferimpedantie van een uitgebreide *AS* kan experimenteel worden bepaald met "current injection test methods" waarbij de veroorzaakte spanningsverschillen tussen kritische klemmen worden gemeten. Zowel modellen voor als metingen van de transferimpedantie van *AS*-en voor leidingen en *AS*-en voor instrumenten worden behandeld.

Voor het meten van hoge spanningen in hoogspanningsinstallaties is het transporteren van gedifferentieerde meetsignalen gunstig voor EMC. Naast het belangrijke voordeel dat de meetkabel karakteristiek kan worden afgesloten is een tweede EMC-voordeel dat het eerste deel van de integrator passief kan worden uitgevoerd. Onderdrukking van snelle transiënten kan dan plaats vinden voordat deze de kwetsbare actieve elektronica bereiken. Een belangrijke rol is hier weggelegd voor de EMC-kast die zowel de meetapparatuur als het geïntegreerde meetsignaal moet beschermen. Beschreven wordt het ontwerp van een Differentiërend/Integrerend (D/I)-systeem voor het meten van snelle spanningstransiënten. Het D/I-systeem is onder andere gebruikt voor het meten van spanningstransiënten in het "Gas Insulated Switchgear" onderstation Eindhoven-West. Een GIS-installatie is een hoogfrequente stoorbron van hoog electromagnetisch vermogen. Middelen om deze stoorbron gedeeltelijk te temmen zijn voorhanden en worden besproken.

* * *

MODELLERINGS- EN REGELALGORITMEN VOOR INDUSTRIËLE ROBOTS

Door F.H.R. Lucassen.

13 november 1990.

Promotor:

Prof.ir. F.J. Kylstra.

Dit proefschrift beschrijft een systematische procedure om op basis van de klassieke mechanica (Newton/Euler) het mathematische model van een starre robot samen te stellen. Hierbij is gebruik gemaakt van een eigen notatie, die het mogelijk maakt om de complexe ruimtelijke relaties tussen delen van een robot kompakt en overzichtelijk te formuleren.

Uitgaande van het model van een starre robot worden twee methoden beschreven om dit model uit te breiden voor robots met niet-starre leden. Eén is gebaseerd op de eindige-elementenmethode, de andere op de randelementen-methode. Beide methoden blijken dezelfde numerieke eigenschappen te hebben voor de toepassing op robots.

Verder worden twee verschillende regelstrategieën besproken. Eén is gebaseerd op een nauwkeurig robotmodel, de andere op Model Referentie Adaptieve Systemen. De prestaties van beide algoritmes worden d.m.v. simulaties getoond.

Als laatste wordt het ontwerp van een 3-dimensionaal meetsysteem, opgebouwd met meerdere laser-interferometers, besproken dat in staat is het mathematisch model te vergelijken met het werkelijke proces. De uitgevoerde baan van het T.C.P. van een robot kan met een dynamische nauwkeurigheid van 10 μm bepaald worden.

* * *

CATHODE SURFACE EFFECTS AND H.F.-BEHAVIOUR OF VACUUM ARCS

Door Fu, Yan Hong.

16 november 1990.

Promotoren:

Prof.dr.ir. W.M.C. van den Heuvel,

Prof.dr. W.R. Rutgers.

Het eerste deel van dit werk bestaat uit een experimentele studie naar het hoog-frequente gedrag van een vacuümboog in relatie tot de micro-geometrie van het kathode-oppervlak. Speciale aandacht gaat hierin uit naar de beweging van de kathode vlek. Met een kwalitatief fysisch model kunnen de relevante experimentele resultaten verklaard worden.

Het tweede deel is een experimenteel onderzoek naar hoogfrequent stroomonderbreking, meervoudige herontstekingen en spanningsescalatie. Mede aan de hand van metingen is een computerprogramma ontwikkeld ter voorspelling van de optredende overspanningen bij het toepassen van een vacuüm-vermogensschakelaar in een realistisch één-fase circuit.

De resultaten van beide delen kunnen als volgt worden samengevat.

- Er dient onderscheid te worden gemaakt tussen de "elektrische ruwheid" van het kathode-oppervlak (beschreven door middel van de effektieve veldversterkings-faktor uit de Fowler Nordheim theorie) en de "geometrische ruwheid" (beschreven door middel van de "gemiddelde ruwheidshoogte langs de centrale lijn").
  Voor een maagdelijk kontakt betekent "geometrisch ruw" ook "elektrisch ruw". Een geërodeerd kontakt kan echter "geometrisch ruw" doch "elektrisch glad" zijn. Uit metingen is gebleken dat een ruwer oppervlak samenhangt met een grotere booglevensduur en een lagere boogspanning, dus met een stabielere boog. Op een geometrisch ruw oppervlak is de kraterdiameter kleiner dan op een glad oppervlak. Het aantal kraters is echter groter evenals hun onderlinge afstand.
- De beweging van de kathodevlek onder invloed van een transversaal magneetveld is in verband gebracht met de ruwheid van het kathodeoppervlak. De kathodevlek beweegt sneller op een "geometrisch ruw" oppervlak, vooral wanneer de bewegingsrichting samenvalt met de richting van oppervlakte-bewerking. Bij een glad kontaktoppervlak is de boogspanning lager en de boog stabieler dan bij een ruw oppervlak. Dit is tegengesteld aan het gedrag zonder aangebracht transversaal magneetveld. Uit metingen bleek een correlatie tussen de boogspanningspieken, versnelde beweging van de kathodevlek en het optreden van kleine, elkaar niet overlappende, kraters.
- Uitgaande van bestaande modellen is een kwalitatief model ontwikkeld voor het mechanisme van de kathodevlekbeweging. Er wordt onderscheid gemaakt tussen "vloeiende beweging" en "onderbroken beweging".
  Vloeiende beweging hangt samen met kleine variaties in massastroom en boogspanning. Een nieuwe krater wordt gevormd in de nabijheid van de bestaande. Onderbroken beweging hangt samen met grote variaties in massastroom en boogspanningspieken. De nieuwe krater ontstaat op enige afstand van de bestaande.
  De elektrische ruwheid van het oppervlak beïnvloedt slechts de kans op ontsteking van een nieuwe emissieplaats. De geometrische ruwheid beïnvloedt de levensduur van de bestaande emissieplaats. Het aangebrachte transversale magneetveld lijkt vooral de positie van de nieuwe emissieplaats te beïnvloeden.
- Er zijn metingen verricht aan hoogfrequent-stroomonderbreking, meervoudige herontstekingen en spanningsescalatie bij een vacuümvermogens-schakelaar en de invloed hierop van kontaktmateriaal (Cu, CuCr, CuSeTe) en kontaktafstand in twee circuits. Het verschijnsel spanningsescalatie kan volledig worden beschreven als een diëlektrisch proces. Drie verschillende doorslagspanningen worden onderscheiden:
  1. de koude doorslagspanning (zonder voorafgaande boog);
  2. de overgangs-doorslagspanning (0.1 tot 100 µs na de hoog frequente stroomnuldoorgang);
  3. de herontstekingsspanning (100 ns na hoog frequent-stroomnuldoorgang).

  Het feit dat een vacuümvermogensschakelaar geen stromen van willekeurige steilheid kan onderbreken wordt geïnterpreteerd als een wedloop tussen de ultra-hoog frequente TRV (afkomstig van parasitaire reaktanties in de schakelaar) en een (door de voorafgaande boog) verlaagde herontstekingsspanning. Het is gelukt een eenvoudige empirische formule te vinden voor de doorslagspanning die het experimenteel waargenomen gedrag beschrijft door middel van de twee doorslagspanningsparameters en een tijdkonstante.
- Er is een analytische oplossing verkregen voor het transiënte gedrag van een één-fasecircuit met een vacuümschakelaar en een induktieve belasting, tijdens herontsteking en tijdens de herstelperiode. De kriteria voor de afwisseling van herontsteking en de herstelperiode zijn verkregen uit experimenten.
  Een computerprogramma verbindt de analytische oplossing met de empirische resultaten. Dit programma is getest door middel van experimenten. Vervolgens zijn, voor een voorbeeldnet, het optreden van herontstekingen en de resulterende overspanningen voorspeld.

* * *

ON THE MODELLING OF DOWNSCALED BIPOLAR TRANSISTORS

Door G.A.M. Hurkx.
27 november 1990.
Promotoren:
Prof.dr. F.M. Klaassen,
Prof.dr. R.P. Mertens.

Ten gevolge van de schaalverkleining van de IC-processen wordt de beschrijving van het elektrische gedrag van bipolaire transistoren ingewikkelder. Bij de modellering van dit gedrag kan men onderscheid maken tussen problemen van verschillende aard. Eén klasse omvat problemen die voortvloeien uit het optreden van fysische verschijnselen die tot dusver onbelangrijk waren. In het bijzonder de noodzakelijke verhoging van de doteringsniveaus en de hiermee gepaard gaande sterke elektrische velden leiden bij schaalverkleining onder meer tot het optreden van tunneleffecten en het ontstaan van hete ladingsdragers. Een andere klasse van modelleringsproblemen is uitsluitend het gevolg van de verkleining van de transistorafmetingen. Als gevolg van de laterale schaalverkleining kan men bij geavanceerde bipolaire processen niet meer volstaan met eendimensionale beschouwingen, maar moet men overgaan op tweedimensionale berekeningen. In dit proefschrift komen beide soorten problemen ter sprake.

In hoofdstuk 2 worden randeffecten op de statische basis- en collectorstroom in verticale npn-transistoren beschreven. Met behulp van een eenvoudig tweedimensionaal transistormodel zijn analytische berekeningen uitgevoerd om inzicht te verkrijgen in het verband tussen deze randeffecten en procesparameters, zoals transistorafmetingen en doteringsniveaus. Deze berekeningen hebben, tezamen met numerieke simulaties, geleid tot praktische formules die ook voor meer ingewikkelde transistorstructuren gelden. De berekeningen tonen aan dat het randeffect op de gatenstroom in de emitter niet alleen het gevolg is van de gateninjectie vanuit de emitter-basisovergang aan de emitterrand, maar dat ook de gateninjectie vanuit de bodem van deze overgang, binnen een zekere afstand tot de rand, een compenserende werking heeft op dit randeffect. De berekeningen laten ook zien dat de recombinatiestroom aan het basiscontact exponentieel afneemt met de afstand tussen dit contact en de emitterrand. Vervolgens worden de verkregen relaties tussen procesparameters en randeffecten getoetst aan metingen aan verschillende typen van bipolaire transistoren. Hierbij wordt ook nader ingegaan op de experimentele methoden ter bepaling van deze randeffecten. Uit zowel metingen als berekeningen is gebleken dat, als gevolg van deze effecten, bij verkleining van de laterale emitterafmetingen de stroomversterking van sommige typen van transistoren toeneemt en van andere afneemt.

In hoofdstuk 3 worden tunneleffecten in een pn-overgang beschreven. Het tunneleffect is een quantummechanisch verschijnsel waarbij deeltjes door een potentiaaldrempel heen dringen ("tunnelen"). In dit geval zijn de

deeltjes elektronen en wordt de potentiaaldrempel gevormd door de verboden zone tussen valentie- en geleidingsband. Voor bipolaire transistoren zijn deze effecten belangrijk bij de emitter-basis overgang. Met name aan de emitterrand, waar de basisdotering het hoogst is, kunnen als gevolg hiervan relatief grote stromen lopen. Zowel tunnelen van band naar band als tunnelen via energietoestanden in de verboden zone (recombinatiecentra) komen in dit hoofdstuk aan de orde. Experimenteel en theoretisch is onderzocht of een bekende formule voor tunnelen van band naar band, afgeleid voor het geval dat het elektrische veld constant is, gebruikt kan worden voor de beschrijving van de tunnelstroom in een pn-overgang, waarbij het elektrische veld niet constant is. Het blijkt dat deze formule inderdaad toegepast kan worden, mits hierin voor het elektrische veld de maximale waarde bij de overgang wordt gebruikt en niet de gemiddelde waarde. Vervolgens wordt een nieuw recombinatiemodel voorgesteld dat, naast het conventionele Shockley-Read-Hall recombinatieproces, ook het tunnelen via recombinatiecentra beschrijft. Een vergelijking van metingen met numerieke simulaties laat zien dat het voorgestelde model de experimenteel gevonden spannings- en temperatuurafhankelijkheid van de niet-ideale diodestroom goed beschrijft. Tenslotte wordt de fysische basis voor een nieuw compact diodemodel ter beschrijving van de stroom-spanningskarakteristiek van een gesperde pn-overgang besproken. Dit model berust op een analytische oplossing van de continuïteitsvergelijking in het ruimteladingsgebied rondom een pn-overgang en beschrijft zowel tunneleffecten als lawine-vermenigvuldiging. Uit een vergelijking van metingen met modelberekeningen volgt dat in het model, naast tunnelen van band naar band, ook tunnelen via recombinatiecentra meegenomen moet worden.

In hoofdstuk 4 zijn, met het oog op schaalverkleining, de aannamen in de quasi-statische beschrijving van het klein-signaal wisselspanningsgedrag van verticale npn-transistoren onderzocht. Ook wordt een nieuwe methode voor de berekening van dit gedrag besproken. Deze methode berust op een eerste-orde storingsrekening en kan dienen om, naast de gebruikelijke berekening van de afsnijfrekwentie, ook op een eenvoudige manier faseverschuivingen en interne wisselspanningsgrootheden (zoals complexe stroomdichtheden en concentraties) te verkrijgen uit een statische berekening. Tenslotte zijn quasi-statische berekeningen van de afsnijfrekwentie vergeleken met de resultaten van niet-quasi-statische simulaties van het wisselspanningsgedrag voor kleine signalen. Hieruit blijkt dat, ook voor moderne transistoren, de quasi-statische afsnijfrekwentie goed overeen komt met berekeningen van de afsnijfrekwentie uit wisselspanningssimulaties.

* * *

A GENERALISED APPROACH TO GATE ARRAY LAYOUT DESIGN AUTOMATION

Door A.G.J. Slenter
11 december 1990.
Promotoren:
Prof.dr.ing. J.A.G. Jess
Prof.dr.ir. R.H.J.M. Otten

Het onderwerp van dit proefschrift betreft het automatisch ontwerpen van bedrading voor gate array IC's. Er wordt een raamwerk gepresenteerd dat een generalisering van dit ontwerpprobleem realiseert. De gepresenteerde concepten zijn nieuw omdat de flexibiliteit het uitgangspunt is geweest bij de ontwikkeling van een consistent raamwerk.

Tot op heden wordt flexibiliteit van gate array ontwerpsystemen bereikt als een, soms onverwacht, neveneffect. De implicatie van een gegeneraliseerde aanpak is dat alle aspecten betreffende de personalisering van een gate array IC heroverwogen moeten worden. Samengevat zijn deze aspecten: de modellering van de layout patronen, de karakterisatie van de gate array families en de te realiseren ontwerpen, en de toegepaste plaatsings- en bedradings-algoritmen. Dit geeft tevens een indicatie van het gegeneraliseerde gate array layout ontwerp-probleem: de meeste algoritmen geven geen oplossingen voor de gegeneraliseerde situatie en zijn daarom slechts beperkt toepasbaar.

De oplossing, zoals gepresenteerd in dit proefschrift, biedt de gebruiker de mogelijkheid om zijn ontwerpomgeving uit te rusten met een layout-ontwerpsysteem met vrijwel ongelimiteerde mogelijkheden. Bijna elke layoutstijl in iedere technologie kan ondersteund worden. Aanpassingen worden bereikt door een gestandaariseerde user-interface, en vergen géén ingrijpen in de software-code van het systeem. De gepresenteerde oplossing is tweeledig. Het eerste deel betreft de formulering van gate array en ontwerp data, gebaseerd op een generalisering van gate array ontwerpen door detaillering. Verder is er slechts één abstractie gedefinieerd om de directe link met een specifieke technologie te elimineren. De space-graaf wordt geïntroduceerd als een nieuwe manier om layout patronen en gerelateerde informatie te beschrijven. Gebaseerd op deze space-graaf wordt een precieze, doch compacte en algemene beschrijving van gate array en ontwerp data gedefinieerd. Het tweede deel betreft de inpassing van layout ontwerp-algoritmen in de gegeneraliseerde context. Het plaatsings-probleem is gesplitst in twee fasen, genaamd globale en gedetailleerde plaatsing. Door een simplificatie van het globale plaatsings-probleem kunnen bekende algoritmen worden ingepast met minimale modificaties. Voor gedetailleerde plaatsing wordt een nieuw algoritme gepresenteerd. Het bedradingsprobleem wordt ook in twee fasen opgelost, genaamd globale en gedetailleerde bedrading. De globale bedrading wordt hiërarchisch gedaan in successievelijk kleinere, meer gedetailleerde regio's. De gedetailleerde bedrading is gebaseerd op een "maze-runner" principe, toegespitst op de beschrijving van de ontwerp-ruimte door de space-graaf. Een belangrijk aspect hierbij is dat de geplaatste modules transparant zijn. Een laatste aspect betreft de integratie van zowel globale als gedetailleerde bedrading in één, consistente, bedradings-strategie. Deze strategie is in staat om een aantal problemen op te lossen die zich voordoen bij separaat globale en gedetailleerde bedrading. Deze problemen zijn geassocieerd met de noodzaak van een accurate definitie van de globale bedradings-capaciteiten enerzijds, en met de rekentijd en geheugen-behoefte van de gedetailleerde bedrading anderzijds.

Ter evaluatie van de in dit proefschrift gepresenteerde concepten is een prototype Gate Array ontwerp Systeem (GAS) geïmplementeerd. Het basis concept van dit systeem is dat gate arrays worden beschreven in een daartoe speciaal ontwikkelde taal (GADL) en vervolgens gecompileerd in een algemeen data bestand. Het systeem bestaat verder uit een kleine selectie van coherente plaatsings- en bedradings-algoritmen.

Tot op heden zijn een vijftal verschillende gate arrays geëvalueerd. Hieruit blijkt dat het aanpassen van GAS aan een nieuw gate array ongeveer één maand in beslag neemt. Verder is de hoeveelheid data, nodig voor de beschrijvingen van gate arrays en ontwerpen, in de orde van 10 Kbytes tot 1 Mbytes, wat acceptabel is voor industriële toepassingen. Tevens blijkt dat de plaatsings-algoritmen een nadere beschouwing behoeven. Alhoewel de gebruikte plaatsings-strategie zeer flexibel is, zijn betere algoritmen nodig om een hogere benuttingsgraad te bereiken. De bedradings-strategie is in staat om oplossingen te vinden voor ontwerpen die meer dan 90% van de beschikbare oppervlakte in beslag nemen. Verdere verbeteringen zijn mogelijk door de gecombineerde globale en gedetailleerde bedradings-strategie.

* * *

INDIUM TIN OXIDE FOR SOLID-STATE IMAGE SENSORS

Door Ch.H.L. Weijtens.

11 december 1990.

Promotoren:

Prof.dr. F.M. Klaassen,

Prof.dr. F.N. Hooge.

Vaste stof beeldsensoren zijn geïntegreerde schakelingen, die licht omzetten in een elektrisch signaal. Beeldsensoren, die berusten op het "frame-transfer" principe, zijn thans bedekt met elektrodes bestaande uit polykristallijne silicium. Dit geleidend materiaal wordt vaak in IC's gebruikt. Het is echter weinig transparant voor zichtbaar licht, wat een belangrijk probleem vormt voor de toepassing in komende generaties beeldsensoren.

Indium tin oxide (ITO) is één van de weinige materialen, die zowel elektrisch geleidend als transparant voor zichtbaar licht zijn. Het gebruik van ITO in IC's is echter vrijwel onbekend. Dit proefschrift beschrijft de ontwikkeling van indium tin oxide lagen als een alternatief voor polykristallijn silicium elektrodes in beeldsensoren. Niet alleen wordt de depositie van ITO behandeld, maar tevens worden de elektrische en optische eigenschappen, de benodigde procestechnologie en de toepassing in beeldsensoren besproken. Speciale aandacht wordt besteed aan de compatibiliteit van ITO met de standaard silicium technologie.

De ITO lagen zijn aangebracht door middel van reactief dc-magnetron verstuiven (sputteren) van een In/Sn kathode in een zuurstof-argon gasmengsel. De invloed van de depositie omstandigheden, zoals sputter vermogen, druk, gassamenstelling en temperatuur, op de depositie zelf en op de gedeponeerde lagen zijn bestudeerd. Gladde ITO lagen kunnen op een reproduceerbare, goed beheersbare manier worden aangebracht, indien de zuurstof koncentratie in het gasmengsel hoog is ($\geq 25\%$).

In eerste instantie voldoen gedeponeerde ITO lagen niet aan de eisen gesteld aan de elektrische weerstand, de licht absorptie en de ets eigenschappen. Door de ITO lagen na de depositie een warmte behandeling te laten ondergaan, kan echter wel aan de gestelde eisen worden voldaan. Verscheidene warmte behandelingen zijn bestudeerd. De meest succesvolle behandeling is een kortstondige (minder dan 1 minuut) behandeling bij 950° C, ook wel Rapid Thermal Anneal (RTA) genoemd.

Een RTA bij 950°C reduceert de soortelijke weerstand van ITO lagen van waarden boven 5 Ωcm tot waarden rond $4 \cdot 10^{-4}$ Ωcm, indien de substraten niet verwarmd zijn tijdens de depositie. Indien de depositie bij 350C° plaats vindt, wordt na een RTA een soortelijke weerstand van $2.5 \cdot 10^{-4}$ Ωcm bereikt. Deze laatste waarde is vergelijkbaar met de beste resultaten uit de literatuur. In dit proefschrift wordt een model gepresenteerd, dat de relatie tussen de elektrische eigenschappen van ITO en de temperatuur tijdens de depositie en de daarop volgende warmte behandelingen beschrijft in termen van de defect chemie.

Behalve de elektrische eigenschappen veranderen ook de optische eigenschappen van ITO tijdens een warmtebehandeling. De extinctie coëfficiënt van ITO in het zichtbare spectrum neemt na een RTA af tot minder dan 0.01. De optische eigenschappen zijn beschreven in termen van de vrije elektronen koncentratie en van een directe en een indirecte band - band overgang.

Voor de toepassing van ITO in beeldsensoren is meer vereist dan het maken van een transparante, geleidende laag. In de ITO laag moeten ook, selectief ten opzichte van de andere aanwezige lagen (fotolak en SiO_2) patronen geëtst kunnen worden. Het is gelukt ITO lagen te struktureren in 2 µm brede lijnen met 2 µm tussenruimte. De etssnelheid is alleen afhankelijk van de depositie temperatuur van de ITO laag en van de temperatuur van het etsmiddel (verdunde HCl). Verder dienen er elektrische kontacten gemaakt te worden tussen ITO en de metaalsporen op de sensor. Door gebruik te maken van een TiW-Al metallisatie krijgt men na een 30 minuten durende warmtebehandeling bij 450°C in een $N_2/20\%H_2$ gasmengsel kontacten met een lineaire stroom-spannings karakteristiek en met een specifieke kontact weerstand van $1.6 \cdot 10^{-6}$ Ωcm². Dit is ruim een orde van grootte lager dan de beste resultaten uit de literatuur.

Een belangrijk probleem, dat tot nu toe de toepassing van ITO in beeldsensoren heeft verhinderd, is de beschadiging van de SiO_2 isolatie laag onder de ITO laag. De beschadiging ontstaat bij de depositie van ITO en resulteert in zogenaamde vaste oxide lading en oppervlakte toestanden. Door een kombinatie van een RTA bij 950° C en een warmtebehandeling in N_2/H_2 bij 450° C is het aantal defecten teruggebracht tot ongeveer $7 \cdot 10^{10} cm^{-2}$. Het aantal defecten neemt verder af tot minder dan $5 \cdot 10^9 cm^{-2}$ door vóór de depositie van ITO een dunne polykristallijne silicium laag aan te brengen. Deze laatste waarde wordt bepaald door de nauwkeurigheid, waarmee de werkfunctie gemeten kan worden en is vergelijkbaar met de hoeveelheid defecten in konventionele beeldsensoren, die gebruik maken van polykristallijn silicium.

Aan de gestelde eisen is voldaan. De bruikbaarheid van de ontwikkelde technologie is gedemonstreerd door ITO in een "frame-transfer" beeldsensor toe te passen. De bereikte resultaten met betrekking tot bijvoorbeeld de lichtgevoeligheid worden in dit proefschrift besproken.

* * *

ON THE CAPACITY REGION FOR DETERMINISTIC TWO-WAY CHANNELS AND WRITE-UNIDIRECTIONAL MEMORIES

Door W.M.C.J. van Overveld.

25 januari 1991.

Promotoren:

Prof.dr.ir. J.P.M. Schalkwijk,

Prof.dr. J.H. van Lint.

Dit proefschrift behandelt twee onderwerpen uit de informatietheorie, te weten tweewegkanalen (TWC's) en schrijf-eenrichtings-geheugens (WUM's).

Een TWC modelleert communicatie in twee richtingen: twee gebruikers willen elkaar gelijktijdig informatie sturen. Het kanaal dat zij gebruiken produceert voor elke gebruiker een (discrete) output die afhangt van beide inputs. Het kanaal is geheugenloos, maar elke gebruiker mag zijn volgende input laten afhangen van eerdere inputs en outputs. We onderzoeken hoe efficiënt dit kanaal gebruikt kan worden, d.w.z. we zoeken het capaciteitsgebied.

In het proefschrift brengen we enige "losse" resultaten uit het verleden samen onder één theorie. We gebruiken de zogenaamde "grafische representatie", die tweeweg-communicatie herleidt tot partitionering van het eenheidsvierkant. Dit was reeds bekend voor een voorbeeld van een TWC, het binaire "and" kanaal (BMC), maar deze methode blijkt bruikbaar voor een grote klasse van kanalen. Hiermee is het mogelijk goede ondergrenzen aan capaciteitsgebieden af te leiden.

Een WUM is een model van een herschrijfbare optische plaat. Op zo'n plaat staat binaire informatie en in een schrijfcyclus kunnen symbolen slechts in één richting veranderd worden: ofwel nullen kunnen in enen veranderen (over de hele plaat; we noemen dit een 1-cyclus), of enen kunnen in nullen veranderen (een 0-cyclus). We nemen aan dat 0- en 1-cycli elkaar afwisselen. Ook hier vragen we naar de capaciteit: we willen zo veel

mogelijk informatie opslaan op een plaat.

We onderscheiden vier gevallen, afhankelijk van de vraag of de schrijver en/of de lezer de toestand van de plaat kent vóór het schrijven. Voor elk van deze vier gevallen bepalen we de capaciteit. Voor een aantal van deze gevallen was de capaciteit al bekend; in dit proefschrift generaliseren we deze resultaten naar een algemener type WUM, namelijk de WUM over een alfabet met q symbolen. We hebben nu q verschillende (cyclisch doorlopen) schrijfcycli. Ook hiervoor bepalen we het capaciteitsgebied, in drie van de vier gevallen. Voor geval 4 (schrijver noch lezer kent de oude toestand) geven we een binnengrens waarvan we vermoeden dat hij gelijk is aan de capaciteit.

Tenslotte leggen we een verband tussen TWC's en WUM's. Omdat het capaciteitsgebied voor twee gevallen van de binaire WUM gelijk is aan een fundamentele buitengrens aan de capaciteit van het BMC, zoeken we een generalisatie van dit fenomeen over een willekeurig alfabet. Dit geeft aanleiding tot gegeneraliseerde TWC's voor q gebruikers, waarvoor we enige eigenschappen afleiden.

* * *

IC DEFECT-SENSITIVITY
THEORY AND COMPUTATIONAL MODELS FOR YIELD PREDICTION

Door J. de J. Pineda de Gyvez.
22 april 1991.
Promotoren:
Prof.dr.ing. J.A.G. Jess,
Prof.dr.ir. W. van Bokhoven.

Een belangrijke factor die de opbrengst van correct werkende chips zelfs in volwassen IC fabricage processen bepaalt is het optreden van spot defecten. Spot defecten zijn lokale verstoringen van de gelaagde silicium strukturen, veroorzaakt door stofdeeltjes, toleranties in process parameters, onzuiverheden in gebruikte materialen en vervuiling van gereedschappen en werktuigen. Spot defecten kunnen worden beschouwd als willekeurige verschijnselen met een bepaalde stochastische ruimtelijke verdeling op de plak, met een stochastische grootte en veelvuldigheid van optreden per eenheid oppervlak (defect density).

Aangezien de layout patroon resoluties op het IC steeds kleiner worden, zal het negatieve effect van dit soort defecten toenemen. Traditionele layout verificatie concentreert zich op de validatie van ontwerp regels zoals opgelegd door de technologie van het fabricage proces. Er wordt daarbij echter geen aandacht besteed aan de mate van gevoeligheid van het ontwerp ten aanzien van defecten die mogelijkerwijs kunnen optreden in een werkelijke fabricage omgeving. Hiervoor is het nodig om de zogenaamde kritieke gebieden in het ontwerp te bepalen. De kritieke gebieden zijn delen van de layout geometrie alwaar spot defecten van een gegeven afmeting aanleiding kunnen geven tot een foutief gedrag van de schakeling. Bijvoorbeeld kan een spot defect een brug vormen tussen twee naburige patronen en daarmee een deel van de schakeling kortsluiten. Een maatstaf voor de kwetsbaarheid van het ontwerp voor dit soort defecten is bepaald door de ratio van totale kritiek gebied (voor een bepaalde defect grootte) ten opzichte van de totale layout oppervlakte. Deze maatstaf noemen we "defect-sensitivity". We kunnen nu dus met behulp van de kennis omtrent de defect-sensitivity van een bepaald layout ontwerp en de bestudering van de stochastische verdeling van defecten in een bepaalde proces omgeving de totale opbrengst van het IC voorspellen.

Om een goed begrip te verkrijgen van de relaties tussen defecten, het technologisch proces, en het te ontwerpen elektrische circuit, is een formeel semantisch model opgesteld ter modellering van de door het fabricage proces geinduceerde defecten en hun invloed op foutief circuit gedrag. Deze concepten en een overzicht van opbrengst modellering worden in het eerste hoofdstuk van dit proefschrift behandeld.

Hoofdstuk 2 geeft een mathematische analyse van de geometrische eigenschappen van kritieke gebieden en een taxonomie van verschillende defect-sensitivity modellen gebaseerd op de aanwezigheid van enkele of meervoudige fouten, geinduceerd door enkele of meervoudige defecten geplaatst op een of meer lagen.

De tot nu toe bekende methoden voor het vinden van de kritieke gebieden maken gebruik van een grove benadering van de werkelijkheid en leveren dus alleen voor zeer eenvoudige layouts accurate resultaten op, terwijl voor complexe layouts de resultaten te onnauwkeurig zijn. Een nieuwe praktische methode voor het correct bepalen van de kritieke gebieden in enkelvoudige lagen wordt gepresenteerd in hoofdstuk 3; in hoofdstuk 4 wordt deze methode uitgebreid tot meervoudige lagen.

Het moet duidelijk zijn dat kwalitatief gezien de meerlaagsmethode zal leiden tot een meer nauwkeurige voorspelling van de opbrengst in vergelijking tot de eenlaagsmethode. Om dit ook kwantitatief aan te tonen, worden in hoofdstuk 5 beide methoden toegepast op een aantal voorbeeld ontwerpen.

In tegenstelling tot de algemene opvatting dat de berekening van kritieke gebieden zeer rekenintensief is, blijkt uit dit proefschrift dat er een efficiënte oplossingsmethode bestaat, die dan ook kan worden toegepast in een interactieve werkomgeving. Daarnaast leveren de ontwikkelde software systemen verdere resultaten die kunnen worden gebruikt voor het analyseren van het fabricage proces, bijdragen in algemene kwaliteitsverbetering, het opstellen van tests vereenvoudigen, en mogelijkheden bieden tot foutafweging.

* * *

COMPACT MODELLING OF THE DYNAMIC BEHAVIOUR OF MOSFETS

Door T. Smedes.
18 juni 1991.
Promotoren:
Prof.dr. F.M. Klaassen,
Prof.dr. H. Wallinga.

Dit proefschrift behandelt het modelleren van het dynamisch gedrag van MOSFETs. Na een korte inleiding over de verschillende methoden om halfgeleider device te modelleren in hoofdstuk 1, wordt in hoofdstuk 2 een overzicht gegeven van het analytisch modelleren van het DC gedrag van MOSFETs. Het hoofdstuk eindigt met een bespreking van het kort kanaals DC model dat in de volgende hoofdstukken gebruikt zal worden.

In hoofdstuk 3 wordt het modelleren van het dynamisch gedrag van het ideale deel van de transistor besproken, waarbij gebruik gemaakt wordt van de quasi-statische benadering. Er wordt een methode gepresenteerd om de kanaallading te verdelen in een source- en drainlading, hetgeen nodig is voor toepassing in een circuitsimulator. Na de afleiding van de uitdrukkingen voor de ladingen, worden de resulterende expliciete capaciteitsuitdrukkingen gepresenteerd. Tenslotte eindigt het hoofdstuk met de bespreking van een praktisch ladings- en capaciteitsmodel voor MOSFETs. Belangrijke effecten, zoals snelheidsverzadiging, het bulkeffect en kanaalverkorting,

worden in rekening gebracht. De afleiding van het model wordt ondersteund door numerieke device simulaties.

In hoofdstuk 4 wordt het bovengenoemde model uitgebreid door parasitaire elementen in rekening te brengen, die inherent zijn aan de werkelijke transistor. Eerst wordt een expliciet model voor de effecten van de serieweerstanden afgeleid. Er wordt met behulp van simulaties en experimenten aangetoond, dat deze weerstanden een aanzienlijk effect hebben op de capaciteitskarakteristieken. Vervolgens worden de capaciteiten, veroorzaakt door de overlapping van de gate met de source en drain gebieden, besproken. Met behulp van simulaties en experimenten wordt aangetoond dat deze capaciteiten, in het geval van een transistor met licht gedoteerde drain, afhankelijk zijn van de DC instelling van de transistor. Er wordt een analytisch model gepresenteerd om dit gedrag te beschrijven.

In hoofdstuk 5 wordt een model afgeleid voor hoog frequent toepassingen. Anders dan bij het laag frequente model wordt er nu geen gebruik gemaakt van de quasi-statische benadering. Het model omvat de effecten van mobiliteitsreductie door het loodrechte elektrische veld, snelheidsverzadiging en de bulklading. De invloed van deze effecten op het hoog frequente gedrag van de transistor is bestudeerd met behulp van numerieke devicesimulaties. Het analytische model wordt gepresenteerd in Besselfuncties. Deze kunnen worden gegeven als reeksen. Om het aantal termen te beperken, wordt er voorgesteld om een asymptotische benadering te gebruiken voor de evaluatie van het model bij zeer hoge frequenties.

In hoofdstuk 6 worden bovengenoemde modellen vergeleken met meetresultaten van verscheidene transistoren met verschillende gate lengtes. Twee meetopstellingen zijn gebruikt. Beide worden besproken in dit hoofdstuk. De laag frequente metingen maken duidelijk dat rekening gehouden moet worden met de parasitaire elementen. De effecten van de serie weerstanden zijn voornamelijk zichtbaar in het lineaire gebied. In het saturatie gebied is de spanningsafhankelijkheid van de overlap capaciteiten duidelijk merkbaar. In het algemeen is er een goede overeenstemming tussen de modellen en de metingen. De belangrijkste afwijking wordt veroorzaakt door de vereenvoudigde behandeling van de bulklading. De hoog frequente metingen tonen ook het belang van de parasitaire elementen aan. Door de source en drain serieweerstanden en de overlapcapaciteiten in rekening te brengen, wordt een goede overeenkomst tussen model en metingen verkregen.

Het proefschrift eindigt met conclusies en suggesties voor verder onderzoek.

* * *

ARCHITECTURAL SYNTHESIS AND OPTIMIZATION OF DIGITAL SYSTEMS

Door L. Stok.
10 juli 1991.
Promotoren:
Prof.dr.ing. J.A.G. Jess,
Prof.dr. H. de Man.

Hoog niveau synthese is het vertalen van een functionele specificatie van een digitaal systeem op een algoritmisch niveau naar een netwerk op register transfer niveau. Verschillende applicaties vereisen een verschillende ontwerpstijl. Ondanks deze verscheidenheid in *ontwerpstijlen* zullen veel taken in een synthese proces gelijksoortig zijn. Het is niet nodig om voor iedere ontwerpstijl een compleet nieuw synthese systeem te bouwen.

De beste te volgen weg lijkt het decomponeren van de hoog niveau synthese problematiek in een aantal goed gedefinieerde deelproblemen. Hoe deze opdeling geschiedt hangt enerzijds af van het gekozen type netwerk architectuur en de eisen die aan het ontwerp gesteld worden en anderzijds van de functionele beschrijving. Als deze drie zijn vastgelegd kan een *synthese schema* worden vastgelegd. Snelle en optimale algoritmes die in dit schema passen kunnen dan worden gekozen.

Om een dergelijke synthese filosofie te ondersteunen is een geraamte nodig waarin alle ontwerpinformatie op een unieke manier kan worden opgeslagen gedurende alle fases van het ontwerpproces. Dit vraagt om een data base die in staat is om alle ontwerpinformatie op te slaan met een formele interface naar alle ontwerpgereedschappen. Dit proefschrift geeft een formele beschrijving van zowel de *functionele specificatie*, het *netwerk* op register transfer niveau en het bijbehorende *controle circuit*, als de relaties tussen deze drie. Speciale aandacht wordt besteed aan het efficiënt representeren van wederzijds exclusieve operaties en de toegang tot informatie die in arrays is opgeslagen. De tijdsplanning- en toewijzingsproblematiek zijn gedefinieerd als afbeeldingen tussen deze formele beschrijvingen. Door te laten zien hoe verschillende bestaande algoritmes in dit geraamte passen wordt de geschiktheid van deze benadering aangetoond.

Drie nieuwe toewijzings algoritmes worden in dit proefschrift gepresenteerd: een algoritme voor de optimale toewijzing van registers in cyclische data stroom grafen, een exact polynomiaal algoritme om de toewijzing van modules te doen en een nieuw toewijzingsschema om het aantal verbindingen te minimaliseren gedurende alle stappen van de data pad synthese.

Cyclische data stroom grafen ontstaan als de functionele beschrijving lussen bevat. Register toewijzings algoritmes die tot dusver in de hoog niveau synthese gebruikt werden hielden alleen rekening met data stroom grafen die niet cyclisch zijn. Wanneer deze algoritmes worden toegepast op cyclische data stroom grafen worden overbodige verplaatsingen van data tussen de registers gegenereerd. Het nieuwe algoritme doet een minimale toewijzing van de waarden aan registers en verwijdert alle overbodige data verplaatsingen. Het probleem is geformuleerd als het zoeken naar een transportweg voor meerdere produkten in hetzelfde netwerk. Voor dit probleem bestaan zeer efficiënte oplossingen. Experimenten op een verzameling van referentie voorbeelden hebben aangetoond, dat in al deze testgevallen de overbodige data verplaatsingen konden worden verwijderd, zonder dat meer registers nodig waren.

In het verleden zijn een aantal heuristische algoritmes gepubliceerd om de toewijzing van modules te doen. Gewoonlijk wordt het module toewijzings probleem geformuleerd als het zoeken naar een bedekking met maximaal verbonden deelgrafen van een zogenaamde *module toewijzingsgraaf*. In veel gevallen behoort de module toewijzingsgraaf tot de speciale klasse van *comparabiliteitsgrafen*. Een polynomiaal algoritme kan een optimale bedekking van een dergelijke graaf vinden. Als ook gewichten voor de verbindingen in beschouwing worden genomen kan dit probleem worden getransformeerd naar een maximale kosten netwerk transportprobleem. Dit probleem kan exact opgelost worden in polynomiale tijd. Hieruit kunnen we concluderen dat het module toewijzingsprobleem met gewichten voor de verbindingen exact opgelost kan worden met behulp van een algoritme met complexiteit $O(kn^2)$, waarin n staat voor het aantal operaties en k voor het aantal resulterende modules.

Tot nu toe werd het aantal verbindingen pas geoptimaliseerd als de toewijzing van de operaties aan de modules en de waarden aan de registers was gedaan. Echter, zowel het aantal multiplexers als de hoeveelheid verbindingen zijn beide cruciale factoren voor de vertraging en de oppervlakte van het circuit. Daarom is een nieuw toewijzingsschema nodig dat

het aantal verbindingen minimaliseert gedurende alle fases van de data pad synthese. Dit schema groepeert eerst alle waarden gebaseerd op de tijden waarop ze worden gelezen en geschreven. Waarden die in dezelfde groep terechtkomen kunnen een registerbank delen. Deze groepering minimaliseert dus het aantal data verplaatsingen met verschillende begin- en eindpunten. Vervolgens worden, voor iedere groep apart, de waarden aan registers toegewezen. Tenslotte worden de verbindingen vastgelegd. Gedurende het vastleggen van de verbindingen wordt de toewijzing van de modules bepaald. Het groeperen van de waarden is gedaan met behulp van een algoritme voor een kleuring van de takken van een graaf. Deze algoritmes maken gebruik van de scherpe bovengrens die bestaat voor het aantal benodigde kleuren. Twee technieken: het splitsen van de lees- en schrijffases en de introductie van seriële herschrijf operaties zorgen ervoor dat nog efficiëntere exacte takkleuringsalgoritmes kunnen worden gebruikt. Er wordt aangetoond dat wanneer een dergelijk schema wordt gebruikt, belangrijke besparingen (20%) in het aantal lokale verbindingen en de hoeveelheid globale verbindingen verkregen kunnen worden, ten koste van een kleine toename in het aantal registers.

* * *

MODELLING AND CONTROL OF A FLEXIBLE BEAM AND ROBOT ARM

Door L. Kruise.
27 september 1990.
Promotor:
Prof.dr.ir. J. van Amerongen.

Het doel van dit proefschrift is het onderzoeken van de mogelijkheden om flexibele robotarmen te regelen en om deze mogelijkheden te verifiëren met experimentele opstellingen.

In hoofdstuk 2 wordt kort ingegaan op de mogelijke trillingen die in een eenzijdig ingeklemde flexibele link kunnen optreden. Het wordt aannemelijk gemaakt dat voor de experimentele opstellingen beschreven in dit proefschrift alleen de transversale trillingen van belang zijn. In het laatste deel van hoofdstuk 2 wordt een model afgeleid voor een flexibele robotarm. Dit model is opgebouwd uit een aantal submodellen. Het submodel voor een flexibele link bestaat uit een oneindig aantal modes. Het is noodzakelijk dat het aantal modes wordt beperkt om het uitvoeren van simulaties mogelijk te maken. Daartoe is een steady-state correctie geïntroduceerd. Met behulp van deze correctie is het mogelijk het laagfrequent gedrag van een flexibele link correct te beschrijven met een beperkt aantal modes.

In het eerste deel van hoofdstuk 3 wordt de regeling van een hypothetische in een horizontaal vlak roterende flexibele staaf beschreven. In dit hoofdstuk wordt duidelijk gemaakt dat het regelgedrag aanzienlijk kan worden verbeterd door met de flexibiliteit van de staaf rekening te houden bij het regelaarontwerp. Voor het bepalen van de terugkoppelfactoren is gebruik gemaakt van de poolplaatsingsmethode. In dit hoofdstuk wordt tevens aangetoond dat de settling time van het systeem wordt begrensd door het niet minimum-fasegedrag van de flexibele staaf. Verder beschrijft dit hoofdstuk een regelaar, die robuust is voor veranderingen in de massa van de last van de robotarm. Het ontwerp van deze regelaar is gebaseerd op een multi-model benadering.

Voor het gebruik van een toestandsregelaar is het noodzakelijk dat alle toestanden in het model van het systeem bekend zijn. Om de trillingen in de staaf te meten worden rekstrookjes gebruikt. Op deze manier kunnen niet alle toestanden van de flexibele staaf gemeten worden. Het is daarom noodzakelijk om schatters te gebruiken voor het bepalen van de onbekende toestanden. In dit hoofdstuk wordt getoond, dat het schatterontwerp kan worden vereenvoudigd door verscheidene rekstrookjes op de staaf te plakken.

Het eind van hoofdstuk 3 beschrijft regelaars voor een flexibele arm met twee graden van vrijheid, die in een verticaal vlak kan bewegen. Voor deze arm is het noodzakelijk de zwaartekracht in beschouwing te nemen. Een vereenvoudigd model wordt afgeleid voor het bepalen van een regelaar, die met de flexibiliteit van de arm rekening houdt. Met behulp van dit vereenvoudigde model wordt een toestandsregelaar bepaald voor het gelineariseerde systeem.

In de hoofdstukken 4 en 5 worden de in hoofdstukken 2 en 3 beschreven theoretische resultaten vertaald naar praktische resultaten. In hoofdstuk 4 worden de resultaten van een roterende staaf beschreven. Het eerste deel van dit hoofdstuk beschrijft de bepaling van de onbekende parameters van het systeem. Indien mogelijk worden de gemeten waarden vergeleken met theoretische waarden. In het laatste deel van dit hoofdstuk worden de resultaten van een aantal regelaars getoond.

Tenslotte worden in hoofdstuk 5 de resultaten beschreven van een flexibele robotarm met twee graden van vrijheid. In het eerste deel van dit hoofdstuk wordt in het kort het ontwerp van de robotarm besproken. Vervolgens worden de onbekende parameters van het systeem bepaald. In het laatste deel van dit hoofdstuk worden de resultaten van een regelaar voor een gelineariseerd model getoond.

* * *

THIN-FILM MAGNETORESISTIVE ABSOLUTE POSITION DETECTOR

Door J.P.J. Groenland.
19 oktober 1990.
Promotor:
Prof.dr. J.H.J. Fluitman.

Onderwerp van dit proefschrift is het onderzoek betreffende een digitaal absoluut positiedetektie-systeem, dat is gebaseerd op enerzijds een drager van de positie-informatie (bijv. in de vorm van een magneetband) met één codespoor, en anderzijds een rij magnetoweerstandsensoren voor de detektie van de informatie. De sensorrij bestaat uit een permalloystrip ($Ni_{0.81}Fe_{0.19}$) die door middel van een aantal kontaktstrips (Mo-Al) is verdeeld in afzonderlijke sensorelementen. De sensorsignalen in een magnetisch veld in het vlak van de strip zijn het gevolg van het anisotrope magnetoweerstandseffekt dat optreedt in dunne ferromagnetische films. De permalloystrip is ca. 50 nm dik en heeft een breedte van 10, 20 of 30 μm. De middens van de sensorelementen bevinden zich op onderlinge afstanden van 50 tot 200 μm, afhankelijk van de bitafstand in de magneetband.

Het vlak van de sensorstrip staat loodrecht op het vlak van de magneetband, terwijl de lengterichting en bewegingsrichting van de permalloystrip samenvallen met de lengterichting van de magneetband. De magneetband is voorzien van een zogenoemd "pseudo-random" bitpatroon, met de eigenschap dat de bitkombinatie van iedere willekeurig gekozen set, bestaande uit n aaneengesloten bits, uniek is. Afhankelijk van de feitelijke positie van de sensorkop wordt een bepaalde bitkombinatie gedetekteerd door de uit n elementen bestaande sensorrij, waarna deze informatie kan worden gedecodeerd naar een positiecoördinaat.

In het proefschrift wordt de haalbaarheid van het positiedetektie-principe onderzocht aan de hand van experimenten met speciaal ontwikkelde meetkoppen. In inleidende beschouwing worden achtergronden, theorie en ontwerpkeuzes aan de orde gesteld. Er wordt een model opgesteld voor de magnetisatieverdeling in de permalloystrip, die zich in homogene of inhomogene magneetvelden bevindt. Vervolgens wordt de omzetting van deze magnetisatieverdeling in respectievelijk magnetoweerstand- en planaire Hall-spanningen behandeld, hetgeen tenslotte leidt tot een duidelijke keuze voor de toepassing van het magnetoweerstandseffect in een rij positie-sensoren. De mogelijkheden van een rij silicium Hall-sensoren als alternatief voor de rij permalloy-opnemers wordt onder de loep genomen. Vervolgens wordt de basisopzet van een totale positiedetektie-systeem besproken. Hierbij komt het genereren van de toegepaste positiecode aan de orde,

evenals de problematiek van niet centraal ten opzichte van de bits gepositioneerde sensoren en de toepassingsmogelijkheden van interpolatiemethoden.

In het experimentele systeem wordt als drager van de positie-informatie om practische redenen gebruik gemaakt van commercieel verkrijgbare banden die longitudinaal worden gemagnetiseerd. Met het oog op de berekening van het sensorgedrag in het strooiveld van zo'n band, worden de grondslagen van een computer-simulatiemodel besproken, met als resultaat zowel een practisch "eenvoudig" model als een ingewikkelder, méér geavanceerd model. Tenslotte worden de details van het gerealiseerde sensor-chipontwerp uit de doeken gedaan.

De realisatie van de experimentele meetkoppen vormt een veeleisend onderdeel van het research-werk. Er worden twee essentiële items gedetailleerd belicht, namelijk ten eerste het realiseren van een voldoende lage kontaktweerstand tussen de permalloyfilm en het geleiderpatroon en ten tweede de problematiek van het plaatsen van de sensorstrip op enkele mikrometers van de substraatrand.

Het hoofdstuk over metingen beschrijft het gebruikte meetinstrumentarium, de verschillende eigenschappen en afmetingen van de prototype-sensorstrukturen en de opzet van de uitgevoerde metingen, namelijk de registratie van de sensorelement-signalen onder invloed van het strooiveld van de betreffende magneetband. De resultaten worden geëvalueerd voor sensorelementen en banden met verschillende eigenschappen. Het belangrijkste beoordelingscriterium is de zogenoemde "detektie-afstand", die wordt gevonden met behulp van "oogpatronen" welke op basis van "worst case" signalen zijn samengesteld. De onderlimiet voor de bitperiode blijkt een waarde te hebben van een paar honderd micrometer.

Met betrekking tot de gebruikswaarde van het computermodel wordt geconcludeerd dat het "eenvoudige" simulatiemodel redelijk nauwkeurige benaderingen voor sensorsignalen en detectie-afstanden oplevert, indien de berekeningen worden uitgevoerd voor relatief kleine waarden ($\approx 10\ \mu m$) van de afstand tussen de sensorstrip en magneetband-oppervlak. Een voorzichtige variatie van de parameters in het computermodel leidt niet tot een beter resultaat voor de minimum bitperiode (ofwel resolutie) van het positiedetectie-systeem: Een volgende, alles omvattende ontwerpronde zou kunnen resulteren in wezenlijk betere resultaten. Opgemerkt wordt dat de uiteindelijke resolutie van het positiedetectie-systeem, namelijk van de orde van 100 µm, door het gebruik van interpolatietechnieken kan worden verbeterd met een factor 10 tot 100. In dit geval zal de nauwkeurigheid, die in de eerste instantie van de orde van grootte is van de bitperiode, kunnen toenemen met een waarde die afhankelijk is van de feitelijke kwaliteit van dergelijke technieken. Tenslotte worden de prestaties van een positiedetectie-systeem op basis van de (alternatieve) silicium Hall-technologie op hetzelfde niveau ingeschat als van een uitvoering op basis van permalloysensoren. In een appendix wordt aandacht besteed aan experimentele technieken op basis van magnetoweerstandsensoren, waarmee indertijd vorm en grootte van het kompakte kopveld van recording-schrijfkoppen werden geanaliseerd.

De industriële toepassing van het besproken absolute positiedetectiesysteem zou moeten zijn gebaseerd op de mogelijkheden om op economische wijze een (massa-)produkt te vervaardigen dat relatief goede prestaties laat zien ten opzichte van de (meest optische) systemen die op de markt zijn. Met het oog hierop zou er onder andere een "special purpose" geïntegreerd circuit moeten worden ontworpen en worden geïntegreerd met de dunne-film sensorstructuur. Dergelijke omvangrijke en multidisciplinaire activiteiten zijn echter een zekere barrière gebleken voor de industriële toepassing van het ontwerp.

* * *

SURFACE PLASMON RESONANCE - based CHEMO-OPTICAL SENSORS

Door J. van Gent.
19 oktober 1990.
Promotoren:
Prof.dr. Th.J.A. Popma,
Prof.dr.ir. D.N. Reinhoudt.

In dit proefschrift wordt de ontwikkeling beschreven van chemo-optische sensoren, gebaseerd op oppervlakte plasmon resonantie. Zo'n sensor is opgebouwd uit een aantal dunne lagen, waarvan de 54 nm dikke zilverlaag (nodig voor het exciteren van oppervlakte plasmonen) en de sensorlaag de belangrijkste zijn. De gevoeligheid, de selectiviteit, het dynamisch bereik en de responsietijd van de sensor worden grotendeels door chemische processen aan en in deze sensorlaag bepaald.

In hoofdstuk 1 wordt een algemene inleiding gegeven over chemo-optische sensoren, toegespitst op de optische sensor principes en op de sensorlaag.

Oppervlakte plasmon resonantie werd gekozen als optische techniek, omdat dan een groot deel van het elektrisch veld in de sensorlaag geconcentreerd is (hoofdstuk 2). Daardoor wordt de propagatieconstante van het oppervlakte plasmon (de grootheid die in de sensor gemeten wordt) sterk beïnvloed door veranderingen in de brekingsindex van de sensorlaag. Vanwege de hoge veldconcentratie is het mogelijk met zeer dunne sensorlagen te werken, waardoor de sensor snel kan worden.

In de sensorlaag wordt gebruik gemaakt van kleurstof molekulen. Het golflengte afhankelijke reële deel van de brekingsindex van een kleurstof kan berekend worden uit het absorptiespectrum met behulp van de Kramers-Kronig relaties (hoofdstuk 3). Een verandering in het absorptiespectrum van een kleurstof heeft een verandering in de golflengte afhankelijke brekingsindex tot gevolg, en dus een verandering van de propagatieconstante van het oppervlakte plasmon.

Chromoionoforen, verbindingen die van kleur veranderen bij complexering met een ion, zijn zeer geschikt voor toepassing in optische ion sensoren. Deze molekulen bestaan uit twee delen: een chromofoor deel dat voor de kleur zorgt, en een ionofoor deel dat een complex kan vormen met een ion. In hoofdstuk 3 worden met behulp van computer simulaties de voor toepassing in oppervlakte plasmon sensoren gewenste optische eigenschappen van deze chromoionoforen bepaald. De belangrijkste van deze eigenschappen zijn een absorptiemaximum bij hoge golflengte, een hoge extinctiecoëfficient bij deze golflengte en een smalle absorptieband. Het ionofore deel van de verbinding bepaalt de selectiviteit van de sensor. De gevoeligheid wordt onder andere bepaald door de complexeringsconstante van het chromoionofoor met het te meten ion.

Een literatuuroverzicht met betrekking tot chromoionoforen is te vinden in hoofdstuk 4. Uit dit overzicht volgde dat de gepubliceerde chromoionoforen niet voldeden aan de in hoofdstuk 3 berekende eisen voor toepasbaarheid in oppervlakte plasmon sensoren. De synthese van een nieuwe verbinding, die wel voldoet aan de eis van een sterke, smalle absorptieband bij hoge golflengte, staat beschreven in hoofdstuk 5.

In ionsensoren moeten de sensorlaag en de sensormolekulen goed verankerd worden aan de rest van de sensor, omdat anders de sensorlaag los kan laten of de sensormolekulen uit kunnen lekken. Methodes voor deze immobilisatie staan beschreven in hoofdstuk 6. Een aantal van deze methodes zijn uitgetest op de oppervlakte plasmon sensor.

In hoofstuk 7 worden enkele andere sensoren beschreven: een sensor voor het bepalen van de ammoniakconcentratie in de lucht (gebaseerd op

de kleurverandering van de pH indicator BCP), een luchtvochtigheidssensor (gebaseerd op de zwelling van gelatine) en een WABSPEC-sensor (gebaseerd op de absorptie van licht in een planaire golfgeleider die voorzien is van een dunne sensorlaag, bestaande uit een kleurstof).

Hoofdstuk 8 geeft een overzicht van de belangrijkste resultaten en conclusies.

* * *

ACTIVE-RC BIPOLAR VIDEO FREQUENCY FILTERS

Door W.J.A. de Heij.
15 november 1990.
Promotoren:
Prof.dr.ir. H. Wallinga,
Prof.dr.ir. J.H. Huijsing.

In dit proefschrift worden ontwerp en realisatie van geïntegreerde bipolaire filters voor verwerking van video signalen beschreven. Het frequentie gebied dat deze filters moeten bestrijken loopt DC tot 6.5 MHz.

Een belangrijk aspect van analoge geïntegreerde filters is dat vanwege produktietoleranties en temperatuurvariaties zowel het kantelpunt als de kwaliteits-faktor van de filters regelbaar moet zijn. Analoge geïntegreerde filters kunnen zowel in CMOS als in bipolair gemaakt worden. Bipolaire filters zijn vooral geschikt voor frequenties beneden 20 MHz en lage voedingspanning.

Voor bipolaire technologie is de aktief-RC integrator de meest geschikte filterbouwsteen. De versterker kan goed gemaakt worden. Verder biedt de aktief-RC integrator de meeste mogelijkheden voor het ontwerp van de afstembare V/I-omzetter, voor regeling van de unity-gain frequentie.

De realisatie van filters met een grote selectiviteit (en dus hoge kwaliteits-faktor) stelt hoge eisen aan de fase-karakteristiek van de integrator. De fase moet gelijk zijn aan 90° bij de unity-gain frequentie en de helling van de fase-karakteristiek moet gering zijn. Deze eis leidt tot circuits met een minimaal aantal componenten in de signaalweg.

Er is een afstembare V/I-omzetter gerealiseerd met een korte signaalweg, goede lineariteit en lage ruisfaktor. Verder is een versterker gerealiseerd welke de mogelijkheid geeft de fase van de integrator af te regelen op 90°.

Een automatisch tuning systeem is ontwikkeld, rond een quadratuuroscillator bestaande uit twee integratoren. Via een phase locked loop wordt de unity-gain frequentie van de integratoren afgestemd en via een amplituderegeling wordt de fase op 90° afgeregeld. Door het tuning systeem op dezelfde chip te zetten als de filters, volgen de integratoren in de filters die in de oscillator door de onderlinge gelijkheid van de componenten.

Na goede resultaten van een breadboard en een eerste testchip met losse filterbouwstenen is een tweede testchip met twee videofilters gerealiseerd. Een ontwerpfout in een nieuw common mode feedback circuit op de tweede testchip heeft evaluatie van de filters onmogelijk gemaakt. Het ligt echter in de verwachting dat een nieuwe filterrealisatie met gebruikmaking van het common mode feedback circuit van de eerste testchip succesvol zal zijn.

* * *

SCHEDULING TECHNIQUES FOR ITERATIVE DATA-FLOW GRAPHS

an approach based on the range chart

Door S.M. Heemstra de Groot.
6 december 1990.
Promotor:
Prof.dr.ing. O.E. Herrmann.

Het is voor de hand liggend voor snelle implementaties van digitale signaalbewerkingsalgoritmen gebruik te maken van parallelle computerarchitecturen zoals bijv. multiprocessorsystemen. De prestatie van het systeem hangt echter niet alleen af van de architectuur, maar ook van de afstemming van de implementatie op de specificatie. Bij de afbeelding van een algoritme op een multiprocessorsysteem moeten een aantal problemen worden opgelost. Voorbeelden zijn: partitionering, synchronisatie, time-scheduling (het toekennen van een tijdstip aan iedere uit te voeren berekening) en assignment (het toekennen van een processor aan een berekening).

Een van deze problemen staat centraal in dit proefschrift, nl. het statische schedulingprobleem, waarbij aan iedere berekening in het digitale signaalbewerkingsalgoritme een tijdstip en een processor moet worden toegekend. Het signaalbewerkingsalgoritme wordt gemodelleerd met behulp van een *iteratieve data-flow graaf* (IDFG) een speciaal geval van een data-flow graaf.

Het schedulingprobleem voor IDFG's is NP-volledig, wat tot consequentie heeft dat de tot nu toe voorgestelde oplossingen voor dit probleem ofwel een expotentiële tijdscomplexiteit hebben, ofwel heuristisch zijn en dus geen optimale oplossing garanderen. In dit proefschrift worden de belangrijkste algoritmen uit de literatuur besproken en met elkaar vergeleken.

De belangrijkste bijdrage van dit proefschrift is echter het invoeren van het concept van de *scheduling range* voor IDFG's. De scheduling range geeft voor iedere berekening in het signaalbewerkingsalgoritme het toegestane tijdsinterval aan waarin de berekening kan worden uitgevoerd. Zo'n interval wordt altijd bepaald met verwijzing naar een referentieberekening die vanaf tijdstip 0 wordt uitgevoerd. Het interval volgt uit de intra- en interiteratieve precedentierelaties. Alle ranges samen kunnen zichtbaar worden gemaakt in de *scheduling range chart*.

Als er geen beperkingen worden gesteld aan de latency (de vertraging tussen input en output), is de lengte van de scheduling range van een berekening eindig als de berekening deel uitmaakt van dezelfde sterk verbonden component van de IDFG als de referentieberekening, en anders oneindig.

In termen van scheduling ranges, bestaat het schedulingprobleem uit het voor iedere berekening bepalen van een optimale positie binnen zijn range, zodanig dat bepaalde grootheden (bijv. hardwareëenheden, iteratieperiode, latency, registerleeftijd) worden geoptimaliseerd. Deze wijze van benadering geeft een goed inzicht in de essentie van het probleem.

In dit proefschrift worden twee algoritmen die gebaseerd zijn op het concept van de scheduling range, voorgesteld. Het ene werkt voor *fixed-rate scheduling*, waarbij bij een gegeven iteratieperiode wordt getracht het aantal processoren te minimaliseren, en het andere voor *maximum-througput scheduling*, waarbij gegeven een aantal processoren wordt getracht de iteratieperiode te minimaliseren.

* * *

OPTICAL OPERATION OF MICRO-MECHANICAL RESONATOR SENSORS

Door T.S.J. Lammerink.

14 december 1990.

Promotor:

Prof.dr. J.H.J. Fluitman.

In dit proefschrift, wordt de ontwikkeling beschreven van optische sensoren gebaseerd op micromechanische resonatoren. Een dergelijke sensor is opgebouwd uit een (kleine) mechanische structuur, welke met behulp van licht in trilling wordt gebracht, en waarvan de trilling met een optische verplaatsings-sensor gemeten wordt. De resonantiefrequentie van de structuur is afhankelijk van een te meten parameter.

Indien dit geheel wordt opgenomen in de terugkoppellus van een electronische schakeling met voldoende versterking ontstaat er een oscillator met een parameterafhankelijke trillingsfrequentie.

In hoofdstuk 1 wordt een historisch overzicht gegeven van het onderzoekprojekt en wordt een korte inleiding gegeven op het onderzoeksgebied. Binnen de optische sensor worden drie componenten onderscheiden: de (optische) excitator, de (resonerende) micromechanische structuur en de optische verplaatsingssensor.

Een deel van het onderzoek heeft zich toegespitst op het mechanische (trillings-) gedrag van een balk, welke aan één zijde ingeklemd is (hoofdstuk 2). Door deze manier van bevestigen worden er geen axiale krachten in de balk opgebouwd, welke het trillingsgedrag beïnvloeden. In het opgestelde model wordt ervan uitgegaan dat een excitatietransducer een mechanisch moment opwekt, dat de balk doet buigen. Meetresultaten van het trillingsgedrag stemmen goed overeen met berekeningen. Het blijkt van belang te zijn, de balk als een gedistribueerd systeem te beschouwen.

Bij wijze van voorstudie van de opto-thermische excitatie van een trillende balk wordt eerst de electro-thermische excitatie van een trillende balk behandeld. Door periodieke warmte te dissiperen in een op de balk aangebrachte dunne-filmweerstand wordt de balk in trilling gebracht. Er is een theoretisch model opgesteld, dat de trillingsamplitude van de balk voorspelt, waarbij een karakteristieke overgangsfrequentie optreedt. De experimentele resultaten blijken goed met de berekeningen overeen te stemmen. De resultaten zijn van groot belang voor het ontwerp van de mechanische structuur en voor het ontwerp van de oscillator schakeling.

De opto-thermische excitatie van een trillende balk wordt behandeld in hoofdstuk 4. Naast de thermische en mechanische eigenschappen zijn nu ook de optische eigenschappen van het balkmateriaal van belang. Ook zijn hier de gevolgen van meerlaags balkstructuren op de effectiviteit van de excitatie berekend. Voor niet transparante balken blijkt dat een additionele film aan het oppervlak wel invloed heeft op de temperatuurverdeling, maar geen invloed op het resulterend mechanische moment. Het frequentieafhankelijk gedrag bij opto-thermische excitatie vertoont grote gelijkvormigheid met het gedrag in het geval van elektro-thermische excitatie. Er zijn metingen verricht aan balken met dunne metaalfilms.

De meetresultaten zijn verkregen met interferometer-meetopstellingen (hoofdstuk 5). Er is gebruik gemaakt van een Michelson homodyne en van een Mach-Zehnder Heterodyne interferometer. De Michelson interferometer is gebruikt voor het meten van overdrachtsfuncties en bezit een grote gevoeligheid, terwijl de Mach-Zehnder interferometer wordt toegepast voor het bepalen van de absolute trillingsamplitude. Er is een methode voorgesteld om de Michelson interferometer te kalibreren met een bekende trillingsamplitude van de referentiespiegel.

Een van de kenmerkende eigenschappen van de thermische excitatie is de (statische) temperatuurverhoging ten gevolge van dissipatie. Door deze temperatuurverhoging kunnen (ongewenste) mechanische spanningen optreden. Met name is gekeken naar de invloed van de excitator-geometrie op de trillingsamplitude en de sensoreigenschappen van een trillende balk, welke aan beide uiteinden ingeklemd is.

Als toepassingsvoorbeelden zijn enkele thermisch geëxciteerde resonerende sensoren beschreven: een elektro-thermisch geëxciteerde resonerende-membraan-druksensor met een piezo-resistive trillingsdetectie, een optisch geëxciteerde resonerende-balk krachtsensor en een optisch geëxciteerde druksensor, beide laatsten met optische trillingsdetectie. Het werk aan deze voorbeeldsensoren is de aanzet geweest tot de verdergaande studies naar de verschillende componenten van de optische-resonator-sensor.

In het laatste hoofdstuk zijn de belangrijkste resultaten en conclusies van het onderzoek samengevat.

* * *

IRIDIUM OXIDE BASED COULOMETRIC SENSOR-ACTUATOR SYSTEMS

Door W. Olthuis.

21 december 1990.

Promotoren:

Prof.dr.ir. P. Bergveld,

Prof.dr. W.E. van der Linden.

Zuur- of baseconcentraties kunnnen worden bepaald door middel van coulometrische titratie. Dit meetprincipe gaat uit van zowel de gestuurde generatie van titrant aan de actuatorelektrode als de nauwkeurige detectie van het equivalentiepunt in de resulterende titratiecurve. Aan de laatstgenoemde eis wordt toereikend voldaan door de pH-gevoelige ISFET sensor. Een metaalfilm, aangebracht rond de gate van de ISFET dient als actuatorelektrode, resulterend in een geïntegreerd coulometrisch sensor-aktuator device. De gangbare edelmetaal actuatorelektrode gaat echter gebukt onder een verminderd stroomrendement in de aanwezigheid van storende stoffen zoals chloride-ionen.

Het hoofddoel van de werkzaamheden beschreven in dit proefschrift is het vinden van een materiaal waarmee een stabiele en bertrouwbare actuatorelektrode ontwikkeld kan worden voor het op een ISFET gebaseerde sensor-actuator systeem.

Het inleidende hoofdstuk biedt een schets van het concept en de werkwijze van coulometrische sensor-actuator systemen. De voorgestelde oplossing van het probleem van storende redoxkoppels is om de titrantgeneratie door waterontleding aan een edelmetaal elektrode te verlaten en gebruik te maken van zogenaamde elektro-actieve elektrodematerialen. Deze materialen nemen deel aan de redoxreactie die, in ons geval, vergezeld dient te gaan van de opname of afgifte van protonen, die uiteraard de gezochte titrant vormen. Mogelijke kandidaten zijn iridium- en wolfraamoxide.

Hoofdstuk 2 is gewijd aan de theoretische beschrijving van het verband tussen zuur- of baseconcentratie en de tijd t_{eq}, nodig om het equivalentiepunt in de titratiecurve te bereiken. Massatransport zowel door diffusie als migratie wordt in aanmerking genomen. Het blijkt, dat indien de concentratie van de dragerelektrolyt > 20 hoger is dan die van de getitreerde stof, het massatransport voldoende nauwkeurig door diffusie alleen beschreven kan worden. De resultaten van zowel de analytische modelbeschrijving als de numerieke simulatie zijn in goede overeenstemming met bijbehorende experimentele resultaten.

De bereiding van iridiumoxyde wordt behandeld in het derde hoofdstuk. Verscheidene wijzen van elektrochemische oxydegroei aan een iridiumfilm worden genoemd. Naast de gangbare driehoeksspanning wordt er een stroompuls groeiwijze geïntroduceerd. Het iridiumoxyde wordt gekarakteriseerd met betrekking tot de protonuitwisseling die optreedt tijdens de redoxreactie, de hoeveelheid bij die reactie uitgewisselde lading en de chemische stabiliteit. De reactie verloopt snel genoeg en gaat gepaard met een voldoend grote hoeveelheid uitgewisselde protonen om een coulometrische titratie uit te voeren. De resultaten van experimenten die tot doel hebben de chemische stabiliteit van iridiumoxyde te toetsen door het verval in uitgewisselde lading tijdens de redoxreactie te meten, toonden een bevredigende stabiliteit van het oxyde voor een reeks van testoplossingen van uiteenlopende samenstelling.

Iridiumoxyde kan tevens worden gebruikt als een potentiometrische pH-sensor. De pH-respons, de responstijd en het driftgedrag van de iridiumoxyde elektrode worden behandeld in hoofdstuk 4. De gevonden hoge pH-gevoeligheid (>|-59|mV/pH) blijkt een functie te zijn van de oxydatietoestand van het oxyde, wat verklaard kan worden door een combinatie van de redox- en zure eigenschappen van het gehydrateerde, elektrochemisch gegroeide iridiumoxyde. Drift van de elektrodespanning is grotendeels het gevolg van in de oplossing aanwezige zuurstof. De korte responstijd, het grote bereik, de hoge gevoeligheid en de eenvoud van bereiding bieden de mogelijkheid iridiumoxyde te gebruiken als detector van het equivalentiepunt in zuur-base titraties.

In hoofdstuk 5 wordt niet alleen de succesvolle toepassing van iridiumoxyde als een elektro-actief elektrodemateriaal beschreven, maar tevens een nieuw geheel uit iridiumoxyde vervaardigd sensor-actuator systeem geïntroduceerd, waarvan zowel de sensor als de actuator zijn samengesteld uit iridiumoxyde. Zelfs in de aanwezigheid van chloride ionen kan een base naar zuur titratie met succes worden uitgevoerd zonder verstoring door het chloride/chloor redoxkoppel. Op basis van experimentele resultaten wordt een toevoeging voorgesteld aan het model dat het verband tussen t_{eq} en de baseconcentratie beschrijft. De gereduceerde vorm van iridiumoxyde wordt verondersteld een stabiel complex te vormen met de geoxydeerde vorm, waarbij een proton wordt gebonden, dat wordt afgegeven tijdens het verdere verloop van de oxydatie.

Succesvolle toepassing van wolfraamoxyde als actuatorelektrode materiaal in coulometrische base naar zuur titraties wordt vermeld in hoofdstuk 6. Dit hoofdstuk beschrijft de bereiding en de karakterisering van WO_3 films en toont de resultaten van titraties in een alkalische bulkoplossing, die noch door chloride ionen noch door iodide ionen worden beïnvloed. Helaas blijken zuur naar base titraties onmogelijk te zijn.

Chronopotentiometrie van de oxydatie/reductie van water ter bepaling van zuur- of baseconcentraties is één van de in hoofstuk 7 genoemde aanvullende resultaten. Tevens worden de resultaten getoond van coulometrische titraties, uitgevoerd met een tijdsafhankelijke actuatorstroom. Bovendien worden de meest recente experimentele resultaten gepresenteerd, die een succesvolle coulometrische titratie laten zien, uitgevoerd met de onlangs bereide gesputterde iridiumoxyde actuatorelektrode, aangebracht rond een ISFET-gate.

Tenslotte worden in hoofdstuk 8 conclusies en aanbevelingen voor verder onderzoek gegeven.

* * *

HIGH-ENERGY ION IMPLANTATION FOR BIPOLAR TRANSISTOR FABRICATION

Door F.W. Ragay.
10 januari 1991.
Promotor:
Prof.dr. H. Wallinga.

In dit proefschrift wordt de ontwikkeling van het UT-COVER proces beschreven. In dit proces worden met behulp van hoge energie ionenimplantatie complementaire bipolaire transistoren gerealiseerd. Complementaire bipolaire technologie met equivalente eigenschappen voor zowel de npn als de pnp transistoren, biedt voordelen t.a.v. circuit ontwerp en vermogens dissipatie. In het UT-COVER proces worden de collector gebieden van zowel de verticale npn als de verticale pnp gerealiseerd m.b.v. hoge energie ionenimplantatie. De conventionele begraven en epitaxiale lagen worden hierdoor vermeden, hetgeen in een aanzienlijke proces vereenvoudiging kan resulteren.

De maximale diepte te realiseren met een 1 MeV boor implantatie is beperkt tot ongeveer 2 µm. In deze dunne oppervlakte laag worden de emitter, basis en collector gebieden gefabriceerd. De npn transistor wordt electrisch geïsoleerd van het substraat door de collector van de pnp transistor te gebruiken als isolatie laag. De verticale pnp transistor kan ook gerealiseerd worden in standaard npn processen met een begraven collector, indien de diepte van de epitaxiale laag minimaal 2.5 µm bedraagt.

Zowel de npn als de pnp transistor hebben een stroomversterkingsfactor van om en nabij de 50. Deze is praktisch constant over 5 decades. De afsnijfrequenties van de npn en pnp transistoren zijn 1 GHz, respectievelijk 1.45 GHz. In vergelijking tot de afsnijfrequentie van de conventionele laterale pnp transistoren is die van de verticale pnp in het UT-COVER proces ongeveer een factor 10 hoger. De maximale afsnijfrequentie wordt bepaald door de oplaadtijd van de basis-collector capaciteit. Omdat door het toepassen van hoge energie ionenimplantatie slechts een beperkte diepte beschikbaar is, is het gebruik van een polysilicium emitter erg aantrekkelijk. Voor de npn transistor is dit noodzakelijk om een maximale voedingsspanning van 3 V te bewerkstelligen. In geval van de pnp, vormt de polysilicium emitter een aantrekkelijk alternatief voor de geïmplanteerde emitter.

In conventionele bipolaire transistoren kunnen 2 collector gebieden onderscheiden worden: de zwaar gedoteerde begraven laag en de licht gedoteerde epitaxiale laag. In essentie kunnen de doteringen van deze gebieden onafhankelijk gekozen worden.

Een consequentie van het gebruik van diep geïmplanteerde collector gebieden is de koppeling tussen de collector dotering aan de basis-collector junctie en de maximaal mogelijke collector dotering. Optimalisatie van de verschillende transistor parameters resulteert in tegenstrijdige eisen m.b.t. de collector implantatie. Voor een lage collector weerstand is een hoge dotering noodzakelijk. Anderzijds dient de collector dotering aan de basiscollector junctie laag te zijn t.g.v. een hoge Early spanning, hoge emittercollector doorslag spanning en een lage basis-collector capaciteit.

* * *

FINITE STATE CONTROL IN FUNCTIONAL NEUROMUSCULAR STIMULATION

Door A.J. Mulder.
1 februari 1991.
Promotoren:
Prof.dr. H.B.K. Boom,
Prof.dr. G. Zilvold.

Functionele Elektrostimulatie (FES) is een techniek voor het doen contraheren van spieren door elektrische prikkeling van intacte perifere zenuwen, ten einde functie herstel te bewerkstelligen van (door een centrale aandoening) verlamde ledematen. Wij richten ons hierbij met name op functie herstel van de onderste extremiteiten bij paraplegie patienten. Er wordt daarbij gebruik gemaakt van transcutane stimulatie technieken (elektrische stimulatie van de spieren via elektroden die geplaatst zijn op de huid). De resultaten worden vooralsnog beperkt door een aantal factoren: de snelle spierkracht-afname door vermoeidheid in de gestimuleerde spieren, het tijdvariante en niet-lineare gedrag van de relatie tussen de stimulatie parameters en de ontwikkelde spierkracht, de slechte selectiviteit van de te stimuleren spieren, en de relatief grote delay tussen de elektrische prikkeling en de mechanische responsie van de spier. Dit beperkt de mogelijkheden tot het genereren van betrouwbare en reproduceerbare spiercontracties en bewegingen van ledematen. Ten einde de betrouwbaarheid van spierkracht en gegenereerde beweging te optimaliseren worden fysiologisch voortdurend de beweging, gewrichtspositie en actuele spierkracht vergeleken met de waarden die door het centraal zenuwstelsel worden gewenst. Ten einde de resultaten van FES te verbeteren kan op vergelijkbare wijze gebruik worden gemaakt van terugkoppeling van kinematische informatie van de gestimuleerde ledematen naar de stimulatie apparatuur. Hierdoor is het mogelijk de stimulatie voortdurend te optimaliseren aan de hand van het verschil tussen de gewenste en de werkelijke responsie van het spier-skelet systeem.

Het gebruik van terugkoppeling voor de besturing van de stimulatie van spieren bij FES werd gesproken in hoofdstuk 1. Er werd geconcludeerd dat de spier gemakkelijk verzadigd raakt (de maximale kracht bereikt) zodat geen verband meer bestaat tussen de sterkte van de stimulatie en de opgewekte response. Anderzijds betekent de verzadigde toestand een goed gedefinieerde en relatief stabiele kracht. Daarom is gekozen voor een besturingsstrategie die expliciet van deze toestand gebruik maakt, of, meer algemeen, van goed gedefinieerde (fysische) systeem toestanden. Dit wordt aangeduid met toestands-terugkoppeling (finite state control).

Een toestandsbesturing reageert slechts op diskrete gebeurtenissen zodat met een dergelijke methode wellicht niet de nauwkeurigheid van continue vormen van terugkoppeling kan worden bereikt. Anderzijds is een robuuster systeemgedrag mogelijk, en een eenvoudiger implementatie. In de eenvoudigste vorm kent de regeling slechts twee uitgangstoestanden: aan en uit. Deze dissertatie beschrijft een aantal onderzoeken betreffende de mogelijkheden van finite state sturing voor FES, met name voor de besturing van het opstaan en het blijven staan.

Bij opstaan is het belangrijk dat de staande positie veilig wordt bereikt. Een risico vormt daarbij de mogelijk hoge eind-(hoek)snelheid van het kniegewricht wanneer de gestrekte positie wordt bereikt. Dit kan optreden bij patienten met hypermobiele kniegewrichten. Om deze snelheid te beperken werd in hoofdstuk 2 een gemengd feedforward/feedback schema voorgesteld en getest. Er werd gebruik gemaakt van aan/uit regeling van knie extensor activatie gebaseerd op het gebruik van een schakellijn in de toestandsruimte van het systeem (een schakellijn markeert de begrenzing tussen twee toestanden). Een modelstudie voorspelde dat de besturing de invloed van de additionele armkracht, zoals nodig bij het opstaan middels FES, zal reduceren in vergelijking met open-loop stimulatie. Bij variatie van de armkracht in een bereik van twee keer de nominaal benodigde waarde werd in de modelstudie en in aanvullende experimenten bij dwarsleasie patienten de eindsnelheid van de knie gereduceerd tot een nivo van 40% of minder van de open-loop eindsnelheid. Tevens werd door de regeling de spier activatie tijd tot maximaal 70% van de open-loop snelheid gereduceerd.

Voor het minimaliseren van de knie-extensor activatie tijdens staan werd een strategie onderzocht gebaseerd op de detectie van twee fysische toestanden van het kniegewricht, te weten: wel of niet in de (biomechanisch bepaalde) slotpositie.

In hoofdstuk 3 werd experimenteel de robuustheid van finite state besturing van het kniegewricht voor externe en interne systeem verstoringen aangetoond. De gemiddelde spieractivatie bleek lager in vergelijking tot open-loop stimulatie. Dit bleek te resulteren in een dynamische activatie van de knie-extensoren. De inherente bewegingsoscillatie in de knie zoals die bij gebruik van de finite state besturing ontstaat maakt een herhaalde calibratie van het (externe) hoekopnemer systeem mogelijk.

De experimenten werden uitgevoerd onder gecontroleerde omstandigheden bij patienten in een liggende houding. Onder vergelijkbare condities werd in hoofdstuk 4 het explicite effect onderzocht van intermitterende stimulatie op de vermoeidheid in de knie-extensoren door vergelijking van het isometrische kniemoment bij intermitterende en continue stimulatie. Tevens werd hierbij de invloed van de door de stimulatie ontstane vermoeidheid op de responsiesnelheid van de spier bestudeerd. Opmerkelijk was dat tijdens coninue stimulatie de snelheid en (relatieve) mate waarin de spierkracht afname tengevolge van de spiervermoeidheid onafhankelijk was van het stimulatie niveau's, bij niveau's variërende van 5 tot 100%. Bij intermitterende stimulatie waren zowel snelheid als mate van (relatieve) krachtafname significant lager dan bij continue stimulatie. Deze verschillen gingen uit boven dat wat verwacht werd op grond van de verminderde activatietijd bij intermitterend stimuleren, hetgeen mogelijk wijst op een verbeterde doorbloeding bij intermitterend stimuleren.

In hoofdstuk 5 werd finite state besturing voor de controle van de knie-extensor activatie tijdens staan klinisch gevalideerd bij dwarsleasie. De knie-stabiliteit en de vermoeidheid van de knie-strekkers tijdens finite state besturing werden vergeleken met die tijdens open-loop stimulatie. De invloed van externe mechanische condities werd onderzocht door de sta-experimenten zowel met vrij beweegbaar als mechanisch gestabiliseerd enkelgewricht uit te voeren. Bij gebruik van de finite state regeling lag de resulterende duur van het staan 2.5 tot 12 keer hoger of (wanneer deze duur de maximale experimentduur overschreed) de krachtafname van de kniestrekkers 1.5 tot 5 keer lager dan bij gebruik van open-loop stimulatie. De gemiddelde maximale knieflexie tengevolge van de inherente bewegings oscillatie van de knie bedroeg 6.2° zonder en 3.1° met mechanische enkel stabilisatie.

* * *

SWITCHED-CAPACITOR FILTER DESIGN FOR VIDEO FREQUENCY APPLICATIONS

Door J.J.F. Rijns.

1 maart 1991.

Promotor:

Prof.dr. H. Wallinga.

In dit proefschrift worden ontwerp technieken beschreven voor de realisatie van high-performance switched capacitor filters voor video frequentie toepassingen. Het grote aantal wetenschappelijke publikaties op het gebied van switched-capacitor filters heeft een uitvoerige literatuurstudie noodzakelijk gemaakt. Door de uiteenlopende voorkennis en ervaring van de onderzoekers kenmerkt de literatuur op dit onderwerp zich door een grote verscheidenheid aan ontwerp methodieken, toepasbaar voor verschillende frequentie bereiken. Het is duidelijk dat het beoordelen van de kwaliteit van de publikaties daardoor slechts is weggelegd voor de experts.

Het doel van dit proefschrift is tweeledig. Ten eerste is een overzicht van de literatuur gegeven, gekategoriseerd en geselekteerd op een mogelijke toepasbaarheid voor het ontwerp van video frequentie switched-capacitor filters. Dit overzicht maakt niet alleen het klassificeren van bestaande en te verschijnen publikaties op het aangegeven onderwerp mogelijk, maar heeft tevens gediend als theoretische basis voor het tweede doel: het onderzoek naar de mogelijkheden van switched-capacitor filters in het video frequentie gebied.

Het voornaamste voordeel van het gebruik van switched-capacitor filters is de mogelijkheid om filter coëfficienten te realiseren, welke ongevoelig zijn ten aanzien van proces toleranties en extern verstembaar zijn door middel van de klok frequentie. Gebruik makend van speciale lay-out technieken is een intrinsieke nauwkeurigheid van de filter coëfficienten haalbaar met een digitale equivalentie van 9 tot 10 bits. In video frequentie toepassingen wordt deze nauwkeurigheid niet alleen bepaald door de intrinsieke capaciteitsverhoudingen, maar ook door de kwaliteit van de gebruikte versterkers en schakelaars. Het onderzoek is gericht op het analyseren van de invloeden van niet-ideale eigenschappen van deze aktieve elementen op de overdrachtfunkties van bouwblokken voor hoogwaardige filter architekturen. Deels heeft het onderzoek zich gericht op het gebied van versterker ontwerpen, deels op het gebied van nieuwe signaalbewerkingsstrategieën.

De voornaamste resultaten op het gebied van versterker ontwerpen zijn de klassificatie van dynamische versterkers voor video frequentie toepassingen en het ontwerp van een nieuwe klasse-AB CMOS versterker.

Ten aanzien van signaalbewerkingsstrategieën is de toepasbaarheid van de double-sampling techniek op low-sensitive switched-capacitor ladder filters onderzocht. De invloeden van karakteristieke niet-idealiteiten op het uitgangsspectrum van deze klasse filters zijn beschreven op systeem en op circuit niveau. Kompakte analytische resultaten tonen een uitstekende overeenkomst met simulatie en experimentele resultaten.

Een 2.5 MHz en een 5 MHz low-pass switched-capacitor filter met een 25 MHz klok frequentie zijn gerealiseerd in een BiCMOS proces. Naast de benodigde versterkers en het klok circuit zijn twee interface circuits ontworpen, welke een nauwkeurige overgang van het tijdcontinue naar het tijddiscrete domein en vice versa mogelijk maken. De experimentele resultaten tonen aan dat het realiseren van switched-capacitor video filters mogelijk is.

Om een plaats te veroveren naast digitale of tijdcontinue video frequentie filter technieken zal echter ofwel een beter BiCMOS proces beschikbaar moeten zijn, ofwel het analoge tijddiscrete karakter van de switched-capacitor filters volledig moeten worden uitgebuit.

* * *

MAGNETO-OPTICAL RECORDING MEDIA BASED ON CO/PT MULTILAYERS

Door W.B. Zeper.

11 april 1991.

Promotoren:

Prof.dr. Th.J.A. Popma,

Prof.dr. U. Enz.

Dit proefschrift handelt over de bevindingen van een experimentele studie aan materialen voor magneto-optische (data) registratie, waarbij de nadruk lag op Co/Pt multilagen, dat zijn lagen opgebouwd uit een stapeling van zeer dunne Co en Pt lagen.

Hoofdstuk 1 bevat een introduktie in herschrijfbare optische data opslag, met de nadruk op die onderwerpen die relevant zijn voor het onderzoek naar geschikte magneto-optische materialen. Na een korte blik op de historie wordt de huidige stand van de magneto-optische registratie techniek gepresenteerd, gevolgd door de motivatie en het doel van het werk beschreven in dit proefschrift.

Hoofdstuk 2 gaat dieper in op het magneto-optische Kerr effect en geeft zowel een macroscopische als een microscopische beschrijving van dit effect. Er wordt apparatuur beschreven die met een grote gevoeligheid de Kerr rotatie en ellipticiteit kan meten, waarbij gebruik gemaakt wordt van een optische modulatie techniek. Het Kerr effect is evenredig met de magnetisatie en dat feit wordt gedemonstreerd aan de hand van voorbeelden waarbij met dezelfde meetapparatuur hystereselussen, Curie temperaturen en magnetische anisotropie konstanten worden bepaald. Tenslotte wordt uitgelegd hoe de effectieve Kerr rotatie van een magneto-optische plaatsstruktuur kan worden vergroot met een optische interferentielaag.

Hoofdstuk 3 is een wat algemener verhaal over magneto-optische registratie materialen en tevens een gedetailleerdere inleiding in de magneto-optische registratie technologie, waarin ook onderwerpen als 'direkt overschrijfbaarheid' aan bod komen. Het somt de eisen op die aan het registratiemedium gesteld worden en geeft een overzicht van de materialen die nu gebruikt worden, zoals de zeldzame-aard overgangsmetaallegeringen, of waarvan voorgesteld wordt om ze te gebruiken, zoals oxidische materialen (ferrieten en granaten) en de Co bevattende multilagen.

De Co bevattende multilagen, met name Co/Pt multilagen, zijn het hoofdonderwerp van dit proefschrift en hoofdstuk 4 presenteert hun magnetische, magneto-optische en structuur eigenschappen. Deze lagen zijn gemaakt bij kamertemperatuur met of een verdampings- of een 'sputter'-techniek, waarbij twee afzonderlijke bronnen werden gebruikt. De totale laagdikte van de multilaag was minder dan 500 Å om thermomagnetisch schrijven met een halfgeleider laser mogelijk te maken.

Een magnetisatie die bij voorkeur loodrecht op het oppervlak van de magnetische laag staat is een belangrijke eis aan een magneto-optisch registratiemedium. Co/Pt multilagen vertonen een loodrechte magnetische anisotropie als de Co laagdikte minder dan 12 Å is en hebben een 100% loodrechte remanentie als de Co laagdikte minder dan 4-5 Å is en de Pt laagdikte tussen de 10 en 20 Å is. De magnetische voorkeursrichting kan worden verklaard door een bijdrage van het Co-Pt grensvlak aan de totale magnetische anisotropie. Het coërcitief veld is ongeveer 100 kA/m. De Kerr draaiing en ellipticiteit zijn gemeten als funktie van de golflengte en het blijkt dat de Kerr rotatie θ_K bescheiden is bij 800 nm, maar toeneemt naar kortere golflengten. De reflectie R is hoog (70% bij 800 nm), en dat leidt tot een behoorlijke prestatie waarde $R\theta^2$, met name bij kortere golflengten van het licht. Combinatie van deze eigenschappen maken Co/Pt multilagen een geschikte kandidaat voor een magneto-optisch registratiemedium als

de Co laag ongeveer 4 Å dik en de Pt laag tussen de 10 en 20 Å dik is. Van lagen met deze samenstelling nam de Curie temperatuur af met toenemende Pt laagdikte van ongeveer 400° C naar 250° C.

We namen waar dat de hystereselus vierkanter werd naarmate de totale laagdikte van de multilaag afnam van 500 naar 100-200 Å, met andere woorden, het verzadigingsveld H_S nam af en het nucleatieveld H_N nam toe. H_S kon berekend worden met een streepdomeinmodel en H_N kon beschreven worden met een model waarin werd aangenomen dat nucleatie pas plaats kan vinden bij een veld waarbij kleine restdomeinen instabiel worden. In beide modellen wordt aangenomen dat de domeinwanden kunnen bewegen in de multilaag en de overeenstemming met het experiment was goed. Deze modellen konden echter niet de hystereselus verklaren van een multilaag die op een Pt onderlaag aangegroeid was of die bij een hogere Ar-gasdruk tijdens sputteren gemaakt was. Deze multilagen hebben een hoog coërcitief veld maar gelijktijdig een meer deeltjesachtige microstructuur en de hystereselus stond scheef, in overeenstemming met omkering van de magnetisatie door draaiing in plaats van door domeinwandbeweging. Deze laatstgenoemde multilagen zijn minder geschikt als registratiemedium. Dit concludeerden we uit thermomagnetische schrijf- en leesproeven waaruit bleek dat deze multilagen veel ruis vertoonden, ondanks het hoge coërcitief veld. Co/Pt multilagen die gemaakt zijn door opdampen of door sputteren met Kr in plaats van Ar hadden een meer dichtgepakte microstructuur en vertoonden minder ruis en betere signaal/ruis-verhouding dan Co/Pt lagen op een Pt onderlaag.

Er bestond een vermoeden dat zowel het feit dat de magnetisatie van Co/Pt multilagen soms wat groter was dan verwacht op basis van het Co moment alleen, als het grotere Kerr effect bij kortere golflengten het gevolg zouden zijn van een geïnduceerd magnetisch moment op het Pt. Dit magnetisch moment is experimenteel bevestigd en bepaald met 'magnetic X-ray dichroism' proeven aan de *L*-absorptiekant van Pt. Aannemende dat alleen de Pt-atomen aan het grensvlak met Co magnetisch gepolariseerd zijn, bedraagt het moment van dat Pt-atoom ongeveer 0.2 μ_B. Spin-gepolariseerde bandstructuurberekeningen toonden echter aan dat ook de Pt-atomen verder van het Co-Pt grensvlak gepolariseerd zijn en in sommige gevallen zelfs tegen het Co moment in zouden gaan staan.

In hoofdstuk 5, en gedeeltelijk al in hoofdstuk 4, worden de schrijf- en leeseigenschappen van Co/Pt multilagen besproken. Het is mogelijk om regelmatig gevormde domeinen te schrijven in Co/Pt multilagen met acceptabele schrijfvermogens en -velden. Verder hebben we in detail het lees- en schrijfgedrag van een Co-rijke multilaag met hoge Curie-temperatuur en van een Pt-rijke met lagere Curie-temperatuur vergeleken. De signaal/ruisverhouding, de spreiding in domeingroottes en het ingeschreven domein patroon, zichtbaar gemaakt met hoge resolutie Lorentz elektronen microscopie, zijn onderzocht voor zowel lasermodulatie- als veldmodulatie-schrijven. Met lasermodulatie worden de domeinen zeer regelmatig van vorm, maar met veldmodulatie was er een sterke tendens voor het opsplitsen in subdomeinen.

Tenslotte vergelijken we in hoofdstuk 6 de Co/Pt multilagen met het nu gangbare materiaal Gd-Tb-Fe en geven we enkele suggesties voor verder werk.

In het algemeen kunnen we vaststellen dat aangetoond is dat Co/Pt multilagen gebruikt kunnen worden als magneto-optische registratiemedium.

* * *

AN ARRAY PROCESSOR DESIGN METHODOLOGY FOR HARD REAL-TIME SYSTEMS

Door J.A.K.S. Jayasinghe.
17 mei 1991.
Promotor:
Prof.dr.ing. O.E. Herrmann.

De huidige kennis over het ontwerpen van *hard real-time systemen* is vaak ad hoc. Een methode om de vereiste rekenkracht van deze systemen te realiseren is het gebruik van *multiprocessoren*. *Array processoren*, een speciale klasse van multiprocessoren, zijn in staat in de vereiste rekenkracht te voorzien door de combinatie van parallellisme en pipelining.

In dit proefschrift worden de problemen rond het gebruik van array processoren voor hard real-time systemen beschouwd en vervolgens wordt een systematische ontwerpmethodologie voorgesteld. De traditionele manier van array processorontwerp begint met de constructie van een regelmatige afhankelijkheidsgraaf die vervolgens op een array processor wordt afgebeeld met behulp van matrix-vector vermenigvuldiging. Deze werkwijze maakt automatisering van de afbeelding mogelijk. Als de afhankelijkheidsgraaf semi-regelmatig is, moet de afbeelding handmatig gebeuren.

De ontwerpmethodologie die in dit proefschrift wordt ontwikkeld, biedt de mogelijkheid de afbeelding van semi-regelmatige afhankelijkheidsgrafen te automatiseren. De constructie van een graaf voor een groot en ingewikkeld probleem is moeilijk in één stap te doen. Daarom wordt de graaf hiërarchisch geconstrueerd. Het probleem van de afbeelding wordt beschreven als twee *integer programming* problemen. Dit is de belangrijkste bijdrage van het proefschrift aan het ontwerpen van array processoren. Het voorziet in een geünificeerde benadering van het array processor ontwerpprobleem d.m.v. lineaire en niet-lineaire projectie van regelmatige en semi-regelmatige afhankelijkheidsgrafen.

De toepassing van de ontwikkelde ontwerpmethodologie wordt geïllustreerd door middel van een *systolic array graphics engine*, die beelden in real-time genereert. Het ontwerp is gerealiseerd als een VLSI-chip en tests hebben uitgewezen dat de chip functioneert volgens de specificaties.

* * *

ON THE COMPACT REPRESENTATION OF IMAGE SEQUENCES, PARTLY BASED ON THE HUMAN VISUAL SYSTEM

Door J.A.M. Stuifbergen.
5 juni 1991.
Promotor:
Prof.ir. E.W. Gröneveld.

In de introductie wordt de motivatie voor het onderzoek naar representaties van beeldsequenties in het kort uiteengezet. Tevens worden enige veel voorkomende termen uit de broncoderingstheorie besproken. We geven in deze introductie een belangrijk argument waarop de keuzes voor de representatieschema's, zoals die in deze dissertatie worden uiteengezet, zijn gebaseerd.

In hoofdstuk I wordt een inventarisatie gemaakt van hetgeen bekend is over zowel beeldstatistiek als over maskeringseigenschappen van het visueel systeem van de mens. Aan de hand hiervan worden een aantal representatiestrategieën besproken en becommentarieerd zoals; Pulse Code Modulatie, Differentiële Pulse Code Modulatie en Transformatie Codering. Conclusie ten aanzien van deze strategieën is dat slechts ten dele van de

beeldstatistiek gebruik wordt gemaakt. Om tot een geschikte representatie van natuurlijke beelden te komen nemen we aan dat de representatie en detectie van zulke natuurlijke beelden in de "ontvanger" van deze beelden (i.e. het menselijk visueel systeem) optimaal is aangepast aan de relevante informatie in (natuurlijke) beelden. In ons representatieschema wordt het beeld gerepresenteerd door 2D-bandpass-signalen op een aantal resolutieniveaus. De verschillende resolutieniveaus worden gerealiseerd door spatiële lowpass-filtering en spatiële herbemonstering van het beeldsignaal. Daarbij wordt tevens aandacht besteed aan de reconstructie van het oorspronkelijke beeldsignaal uitgaande van de bandpass-signalen. Met behulp van 1D-FIR reconstructiefilters is het mogelijk om voor 1D-ingangssignalen een exacte reconstructie van het ingangssignaal te verkrijgen. Voor 2D-signalen worden 2D-FIR reconstructiefilters beschouwd die leiden tot een zodanige reconstructie van het ingangssignaal dat reconstructiefouten niet zichtbaar zijn. De volgende stap in de representatie richt zich volledig op de beschrijving en de detectie van radicale luminantieovergangen in het beeld en wel simultaan op een aantal resolutieniveaus. Uitgangspunt is dat radicale luminantieovergangen in een beeld de relevante informatie voor de waarnemer vormen. Een radicale luminantieovergang (RLC) kan worden beschreven met behulp van een viertal parameters per resolutieniveau: x- en y-positie van de nuldoorgang en twee afgeleiden in de nuldoorgang van het bandpass-signaal. Uit deze twee afgeleiden kunnen de amplitude en de oriëntatie van de RLC worden afgeleid. In zoverre RLC's deel uitmaken van objectranden en textuur vormen ze een sterk samenhangende verzameling van beelddata. Grote delen van het beeld bestaan uit slechts geleidelijk variërende luminanties die met weinig data beschreven kunnen worden; daardoor maken RLC's een compacte beschrijving van beelddata mogelijk. Het menselijk visueel systeem is significant minder gevoelig voor luminantieverschillen in de buurt van sterke contrasten zodat juist parameters van RLC's (voor wat betreft de amplitude) zich goed lenen voor kwantisatie van beelddata (compressie).

In zoverre temporele veranderingen samenhangen met beweging (verplaatsing) van objecten en textuur worden in hoofdstuk II een tweetal representatieschema's geconstrueerd en geanalyseerd. Deze 3D-representatieschema's moeten het mogelijk maken om op betrouwbare wijze de parameters van bewegende RLC's te schatten danwel een betrouwbare schatting van de verplaatsingssnelheid van RLC's te maken.

Het principe van de representaties bestaat daaruit dat een bewegende RLC temporeel eveneens als een RLC kan worden voorgesteld. We analyseren de responsies van spatio-temporele bandpass-filters op verschuivende RLC's door middel van een drietal afgeleiden in de nuldoorgangen van de bandpass-signalen. Voor relatief grote snelheden zijn de resultaten van deze afgeleiden voor discrete filters en signalen dubbelzinnig. Op basis van mogelijkheden om deze dubbelzinnigheden (gedeeltelijk) op te lossen wordt de analyse voortgezet met slechts één van de twee 3D-representaties. Voor deze 3D-representatie worden twee reconstructieschema's ontworpen en geanalyseerd. Voor een adequate reconstructie van de 2D-bandpass-signalen met behulp van twee afgeleiden is de snelheid nodig. Echter voor relatief grote snelheden van RLC's is het niet mogelijk om met behulp van een gradiëntschema, dat is gebaseerd op drie afgeleiden in de nuldoorgangen van de bandpass-signalen, een betrouwbare schatting van deze snelheden te maken. We beperken daarom het gebruik van de structuur van het 3D-representatieschema tot het onderzoeken van gradiëntschema's die verschillen met het voorgaande gradiëntschema. Met behulp van deze gradiëntschema's trachten we een betrouwbare schatting van de normaalcomponent van de snelheid van RLC's te verkrijgen. Het feit dat we met behulp van gradiëntschema's alleen de normaalcomponent van de snelheid kunnen bepalen staat in de literatuur bekend als het aperture problem.

Vervolgens vergelijken we het 3D-representatieschema met een tweetal dynamische modellen van het menselijk visueel systeem die ontwikkeld zijn op basis van neurofysiologische en psychofysische experimenten. Voor snelheden kleiner dan 2 pel/frame (per resolutieschaal) vinden we een schema voor het schatten van de snelheden van RLC's waarvan de resultaten voor natuurlijke beelden acceptabel zijn.

We concluderen dat voor grote snelheden de voorgaande gradiëntschema's ten gevolge van temporele onderbemonstering geen betrouwbare resultaten voor de snelheid opleveren. Onder de voorwaarde dat het signaal lokaal met een constante snelheid in de x- of y-richting verschuift stellen we een methode voor het bepalen van de normaalsnelheid voor waarbij we de responsies van een temporeel bandpass-filter en een gemodificeerd spatieel bandpass-filter met elkaar vergelijken. De methode is vrij van problemen die verband houden met temporele onderbemonstering in geval van grote snelheden.

In hoofdstuk III worden verschillende methoden om het aperture problem op te lossen geanalyseerd en becommentarieerd. In een aantal van deze methoden wordt expliciet uitgegaan van een beeld-generatie model. Om het aperture problem te reduceren wordt in al deze modellen aangenomen dat het snelheidsveld spatieel slechts geleidelijk varieert. Er wordt een analyse gemaakt van de minimalisatie van een functionaal die een maat is voor de variatie van het snelheidsveld langs een contour. Met als input de gemeten normaalsnelheden en oriëntaties in ieder punt van de contour levert deze procedure een unieke oplossing voor het snelheidsveld mits de oriëntatie in punten van de contour niet op alle plaatsen dezelfde is. Om in geval van discrete signaalrepresentaties de invloed van meetfouten op de resultaten van het corresponderende algoritme te verkleinen wordt aan de functionaal een nieuwe functionaal toegevoegd welke, vermenigvuldigd met een weegfactor, een maat is voor de betrouwbaarheid van de gemeten normaalsnelheden en oriëntaties. We hebben een experiment uitgevoerd om de invloed van meetfouten en de invloed van de weegfactor op de oplossing van het gemodificeerde algoritme te onderzoeken.

Hoofdstuk IV bevat een aantal conclusies alsmede enige suggesties voor verder onderzoek.

EUREL MANAGER

The Convention of National Societies of Electrical Engineers in Europe (EUREL), which comprises 17 Societies, is now establishing a permanent secretariat in Brussels. It is seeking a manager to head this office. Initially the secretariat will comprise the Manager and a secretary. Member-Societies may second additional staff to the office once it is established.

The Secretariat will include:

- establishing good contacts with EC officials so that the work of the Commission relative to electrical engineering can be made known to the Member-Societies;
- assisting in the formulation of a EUREL view on specific issues of interest to the Commission and ensuring that these views are made known to the appropriate officials;
- establishing specialist groups to advance the knowledge of electrical engineering in specific areas;
- providing an efficient secretariat service for the committees of EUREL and for communicating with the National Societies.

The successful candidate will be required to live in the Brussels area, be fluent in written and spoken English, have good French and preferably at least one other major European language. It would be helpful if the candidate is a professional electrical engineer with good management and administrative experience.

Extensive knowledge of the electrical engineering profession throughout Europe and the relationships between academia, private and nationalized industry, government and the European Commission is essential.

Knowledge of the work of one or more of the following National Societies would be an advantage: OeVE, SRBE, AIM, SEV, VDE, IS, DIF, AEE, SEE, IEE, AEI, NEF, KIVI, NERG, ODE, SER, ASN.

Applicants should send their CV to:
F.G. Helps
Secretary of EUREL
c/o IEE
Savoy Place
London
UK WC2R OBL

Conferentie-aankondigingen

Cursus "Optische meetmethoden voor industriële toepassingen", 23-27 maart 1992, omgeving Nijmegen.
Contactadres: Optel, Toernooiveld 108, 6325 EC Nijmegen. Tel. 080-528800.

Software engineering for telecommunication systems and services, 30/1-1/4 1992, Congress centre Florence, Italy.
Contactadres: Miss Jo Gordon, IEE, Savoy Place, London WC2R OBL. Tel. 071 240 1871. Ext. 222.

4th International conference on image processing and its applications, 6-9 April 1992, Maastricht.
Contactadres: IEE (zie hierboven).

Symposium on medical imaging, 22-24 April 1992, Luik, België.
Contactadres: Mrs. Ch. Lacrosse, AIM, 31 Rue St. Gilles, B-4000 Liège, België. Tel. 041/222946.

Vakuumelektronik und Displays, 4-5 mei 1992, Kongreszentrum Garmisch-Partenkirchen.
Contactadres: VDE-Zentralstelle Tagungen und Seminare, Stresemannallee 15, D-6000 Frankfurt am Main 70. Tel. (069) 6308-202 und 321.

International conference on Datatransmission, 23-25 September 1992, Savoy Place, London WC 2.
Contactadres: IEE (zie 2e aankondiging).

9th Optical fibers conference, 4-6 mei 1993, Florence, Italië.
Contactadres: Mr. G. Lucchini, AEI, Viale Monza 259, 20126 Milan, Italy.

ECOC '93 19_e European Conference on optical communication, 12-16 September 1993, Montreux, Zwitserland.
Contactadres: Prof. R.P. Salathé, EPF Ecublens, CAL, CH-1015 Lausanne, Zwitserland.

Concept programma NERG voorjaar 1992

WV 398
19 maart – avondbijeenkomst
Excursie studio Wereldomroep
Hilversum

JV 399
2 april – dagbijeenkomst
Algemene ledenvergadering; mobiele communicatie
PTT Vergadercentrum, Utrecht

WV 400
9 april – dagbijeenkomst
Het Instrument: hoogfrequent meten
Utrecht, Jaarbeurs

WV
mei – avondbijeenkomst
Mobiele communicatie: GSM
PTT Telecom, Den Haag?

WV
juni – avondbijeenkomst
Mobiele communicatie: koordloze telecommunicatie
Ericsson, Emmen?

WV = werkvergadering, uitsluitend voor NERG-leden;
WV+ = werkvergadering, voor NERG-, AES- en IEEE-leden;
WB = werkbezoek, uitsluitend voor NERG-leden;
JV = jaarvergadering, uitsluitend voor NERG-leden;
SMR = seminar.

Tijdschrift van het Nederlands Elektronica- en Radiogenootschap

Inhoud

deel 56 – nr. 5/6 – 1991

Druk: de Witte, Eindhoven.